

[引著格式] 王凤娇, 刘义坤. 渗透率级差影响下的薄差层层间干扰研究 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2015, 37 (11+12): 44~48.

渗透率级差影响下的薄差层层间干扰研究

王凤娇, 刘义坤 (提高油气采收率教育部重点实验室 (东北石油大学), 黑龙江 大庆 163318)

[摘要] 以大庆油田某薄差层开发区为例, 结合薄差层非均质特性建立层间干扰研究机理模型, 对不同渗透率级差下采出程度的变化规律进行研究, 并通过单层开采模型进行对比, 最终确定薄差层多层合采渗透率级差界限。研究表明: 薄差层层间干扰现象随渗透率级差增加而加剧; 表外储层油水前缘突破后, 日产量和含水率随渗透率级差的变化加剧; 与各层单独开采效果相比, 在渗透率级差为 20 的情况下单层采出程度平均降低 6.59 个百分点; 采出程度随渗透率级差的增加呈对数关系下降; 充分考虑该类储层物性特征与矿场对薄差层采出程度的要求, 综合确定薄差层有效开发渗透率级差应控制在 20 以内。研究成果矿场应用效果良好, 对薄差层高效开发具有指导意义。

[关键词] 薄差层; 层间干扰; 渗透率级差; 采出程度; 有效动用

[中图分类号] TE349 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1000-9752 (2015) 11+12-0044-05

层间干扰是非均质油藏开发中存在的普遍现象, 是影响油田开发效果和储量动用程度的重要因素。由于储层纵向物性 (主要是渗透率) 的差异, 在相同的生产压差下, 薄 (有效厚度 $\leq 0.5\text{m}$) 差 (独立表外) 层储量未动用或动用程度低、动用效果差, 储层非均质引起的层间干扰现象应作为主要研究对象^[1]。随着油田开发的不断进行, 采油井见水以后, 由于储层间动用程度的不同, 各小层的含水率有差异, 含水率的差异会加剧层间干扰现象, 对开发区块整体的采出程度同样产生着重要的影响。

薄差储层具有层薄、层数多, 非均质性强, 储层岩性、物性变化大, 孔隙结构复杂等特点, 并且开采过程中油水井纵向上大都穿过多个油层^[2,3], 因此表内薄层和表外储层合层开采的层间干扰现象为影响其采收率的关键所在。研究表明, 储层非均质性是影响层间干扰的重要因素, 而非均质性对于层间干扰的影响主要体现在层间渗透率级差上。考虑不同砂体类型多油层的组合方式, 分析多层不同渗透率组合方式下的水驱油过程, 以及其日产油和含水率变化规律。根据合采层位渗透率平均值相同、渗透率级差不同的组合原则, 沉积相分别以表内非主体薄层砂和表外储层与对应设计层位相适应, 对渗透率级差影响下薄差层层间干扰现象进行理论研究。

1 机理模型建立

1.1 模型基本参数设置

结合大庆油田某薄差层开发区生产实际, 机理模型规模设定为: X、Y 方向网格步长 10m, 纵向 5 个层位, 网格数 $43 \times 39 \times 5 = 8385$ 个, 采用一注四采五点法布井方式, 井距 150m。单层砂体厚度 2m, 孔隙度 27%。原始含油饱和度、油相相渗、水相相渗等参数分别根据表内非主体薄层砂和表外储层各自岩心水动力测试试验归一化结果赋值。

1.2 生产参数设计

生产井 P1~P4 井根据开发区日平均产油量 3t, 定产油量生产。单井最小井底流压控制为 3MPa,

[收稿日期] 2015-05-12

[基金项目] 国家科技重大专项 (2011ZX05010-002-05, 2011ZX05052-12); 东北石油大学研究生创新科研项目 (YJSCX2014-010NEPU)。

[作者简介] 王凤娇 (1988-), 女, 博士生, 主要从事油气渗流力学及高效开发等方面的研究, wangfengjiao8699@126.com。

经济极限含水率为 98%，模拟 30 年。射开模拟层 1~5 层。

1.3 渗透率级差设计

研究表明，储层非均质性是影响薄差层层间干扰的最重要因素，而非均质性对于层间干扰的影响则主要体现在层间渗透率级差。在保证平均渗透率相同的情况，考虑渗透率级差分别为 5、10、20 及 40 建立 4 个薄差层开发区多层合采机理模型。研究区块平均渗透率为 92mD，各方案最大渗透率设定为 200mD，因此小层渗透率参数选取情况如表 1 所示，最底层为 1 号小层，其他各层自下而上依次编号。渗透率位于 50~200mD 的层位赋值依据为表内非主体薄层砂相渗关系，渗透率小于 50mD 的层位赋值依据为表外储层相渗关系。

表 1 薄差层开发区机理模型各层渗透率参数设置表

方案	渗透率级差	各层对应的渗透率/mD					平均渗透率/mD
		第 5 层 (表外储层)	第 4 层 (表外储层)	第 3 层 (非主体薄层)	第 2 层 (非主体薄层)	第 1 层 (非主体薄层)	
方案 1	5	40	45	75	100	200	92
方案 2	10	20	25	100	115	200	92
方案 3	20	10	20	105	125	200	92
方案 4	40	5	15	110	130	200	92

2 渗透率级差对采出程度的影响

2.1 层间级差对采出程度的影响

按照储层正韵律沉积模式，分析渗透率自上而下变大的情况，合采储层均为表内薄层和表外储层，渗透率级差分别为 5、10、20 及 40 时，采出程度随含水率变化的关系规律如图 1 所示。

薄差储层多层合采时，采出程度受渗透率级差的影响显著。数值模拟结果表明：渗透率级差越小，累积产油量和采出程度越大；表外储层油水前缘突破后，日产油量和含水率随渗透率级差的变化加剧；非主体薄层砂物性较好，受注入水优势通道的影响，表内储层为主要的油流通道，而表外储层产油量较低。

2.2 多层合采小层采出程度

为使薄差层建立连续的油流通道，射开的各小层得到有效的水驱动用，需要有足够大的生产压差作为保证^[5~7]。该类储层动用需要的驱替压差很大程度上又取决于小层渗透率的大小。驱替过程能否形成渗透率相对较低的表外储层需要的驱替压差，与多层组合的层间渗透率级差大小密切相关^[8]。当层间渗透率级差较小时，各储层的物性差异相对较小，那么渗透率相对较低的小层在水驱过程中能够建立较高的驱动压差，从而得到有效动用；然而渗透率级差增大至一定程度以后，相对渗透率更低的储层受物性较好层位的层间干扰加剧，驱动压差迅速降低，使其无法得到有效动用，从而影响整体采出程度。如图 2 中的 5 号小层（表外储层），与其他薄差层合采时，随储层渗透率级差的增加，小层采出程度急剧下降，进而影响整体采出程度。这是因为在小级差下这种物性差异较小的组合可以建立较高的注采压差，

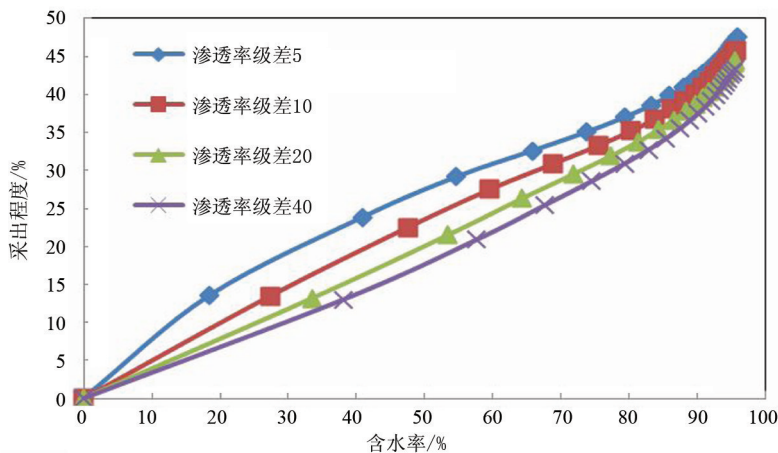


图 1 渗透率级差对采出程度变化规律的影响

使表外储层能够得到相对充分地动用；然而，大级差下由于受到物性相对较好的1号小层（非主体薄层砂）的干扰，无法建立足够的驱油压差，无法得到较为有效的动用。

2.3 单独开采小层采出程度

为对比各小层在层间干扰影响下与单独开采时小层采出程度的差异，在机理模型中设置单独射开5个小层进行模拟，结果如图3所示（以渗透率级差20的方案3为例）。

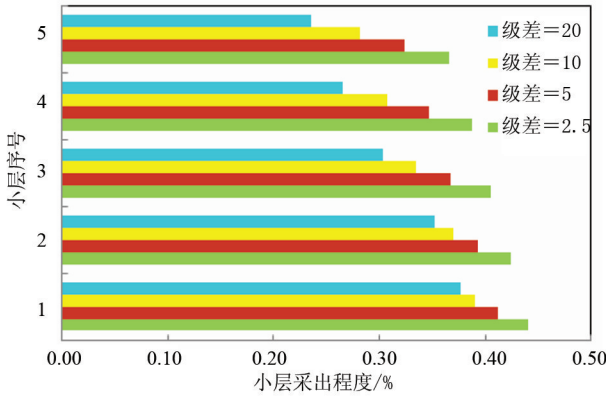


图2 薄差层合采小层采出程度

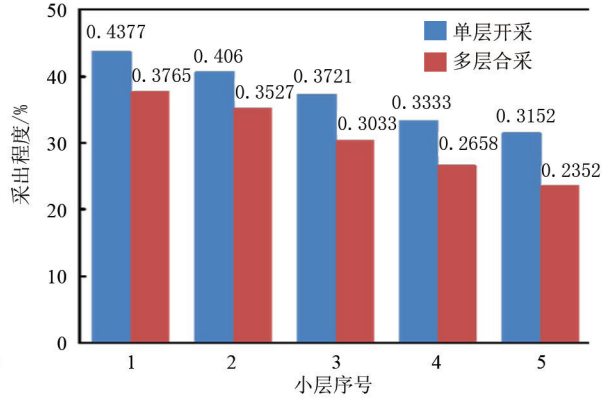


图3 多层合采与单层开采小层采出程度对比柱状图

各小层单独水驱开采至含水率98%时，因为不受层间干扰影响，均能得到较为理想的采出程度。然而多层合采时，在渗透率级差20的情况下，由于受到层间物性差异的影响^[9]，各层的采出程度都有不同程度的降低，平均为6.59个百分点；表外储层采出程度下降幅度最大，由单层开采时的31.52%下降至23.52%。由于实际地层情况更为复杂，采出程度受到层间干扰的影响下降幅度会更大^[10]，那么渗透率级差对于薄差储层的开采影响是非常不利的。因此，在薄差储层开采的过程中，应控制渗透率级差在20以内，保证各个小层在物性本身较差的条件下，对采出程度不会造成更大的影响。

3 渗透率级差与采出程度的关系

利用机理模型数值模拟结果，回归得到如图4所示的采出程度随渗透率级差增加而下降的关系曲线。通过对不同砂体类型组合条件下渗透率级差与采出程度关系分析，采出程度随层间渗透率级差的增大而呈对数关系减小；表外储层受层间干扰现象的影响更为严重。该种现象导致小层采出程度具有较大程度上的差异，干扰程度随渗透率级差的增加而加大。根据矿场实际生产要求^[11]，为保证薄差层合采的有效开发，其采出程度应该在30%以上，因此渗透率级差应控制在20以内。

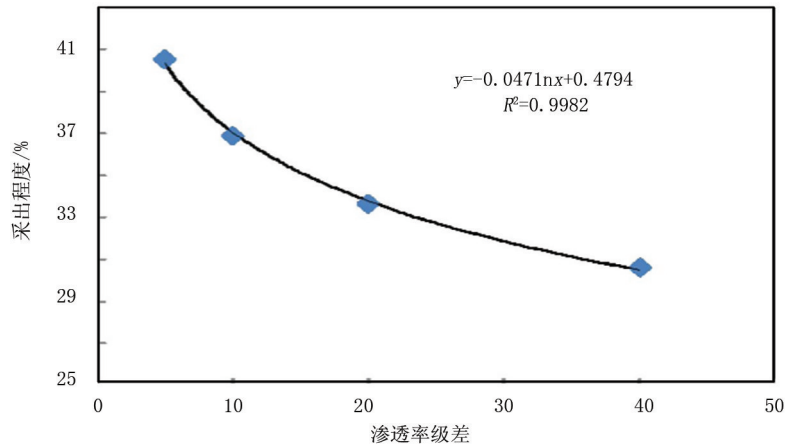
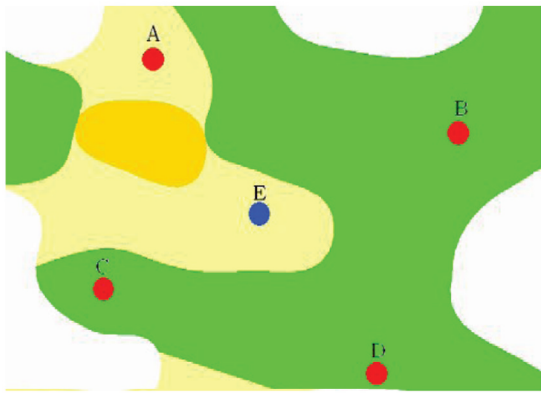


图4 渗透率级差与采出程度关系图

4 应用实例

杏六东薄差层开发区是大庆油田水驱精细挖潜示范区，采用一注四采五点法布井方式。由于开采对象

为薄差层，层间干扰现象严重，存在注入水无效循环比重大、表外储层无法动用、采出程度低、开采效果差等诸多问题。将上述研究成果应用于目标区块，开发效果明显改善（以图 5 所示的井组 M 为例）。



注：A、E 为非主体薄层砂；B、C、D 为表外储层。

图 5 M 井组沉积相分布图

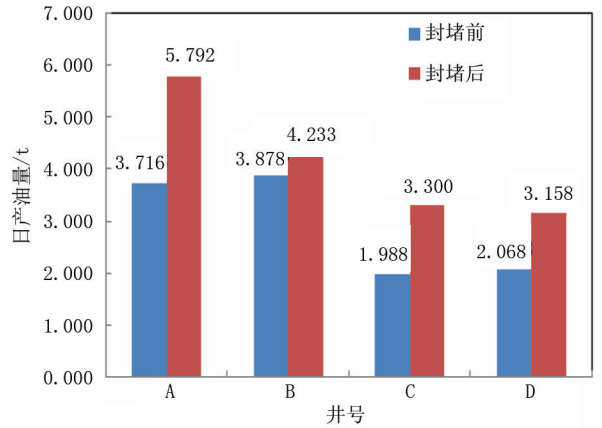
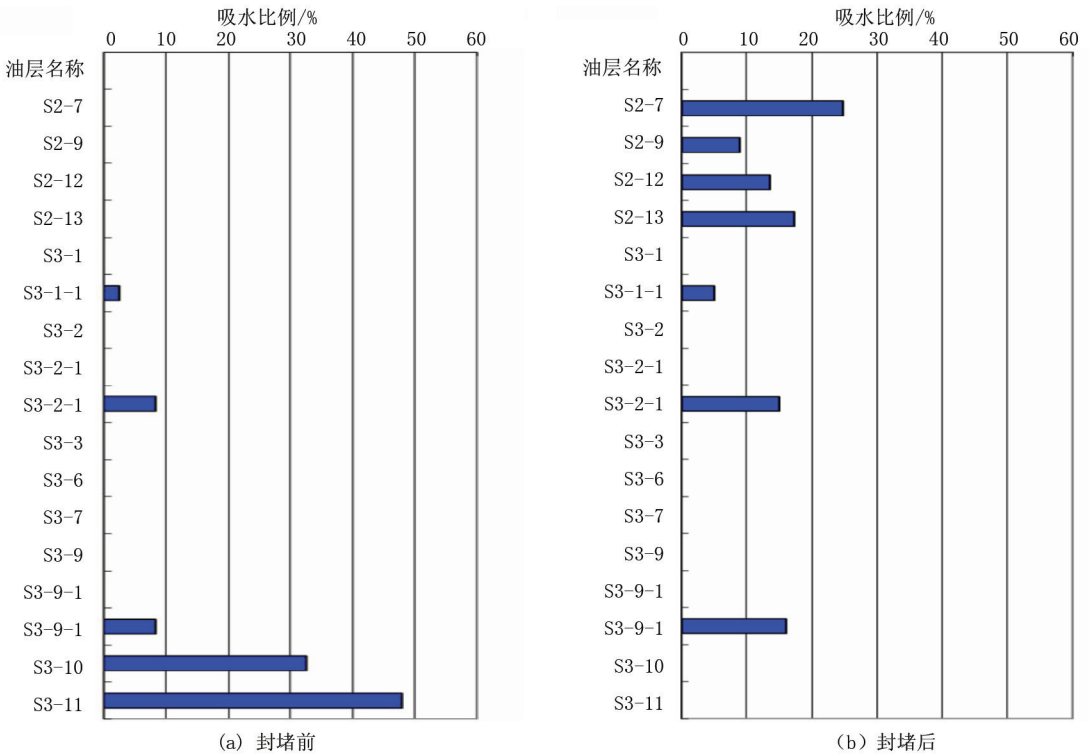


图 6 油井高渗层封堵前后日产量对比图

开发初期，单井合采层系物性差异较大，其中生产井 A 渗透率级差高达 70，其他单井渗透率级差也在 40~60 之间，层间干扰现象严重；平均日产量为 2.912t，开发效果差。应用上述研究成果，控制渗透率级差在 20 以内，并且保证较优开发效果，封堵高渗层 S3-10 和 S3-11，调整前后对比如图 6 所示，该井组调整后平均单井日产量可达 4.121t。



注：S3-1-1 为萨尔图油层 3 油组 1 油层 1 小层。

图 7 高渗层封堵前后注水井 E 吸水剖面变化对比图

注入井 E 高渗层封堵前后吸水剖面变化如图 7 所示，由于 S3-10 层和 S3-11 层渗透率高、物性好，导致该井层间物性差异大，注入水主要被高渗层吸收，薄差层不吸水。高渗层封堵后，S2-7、S2-9、S2-12 等表外储层均得到有效动用，注入水利用率高，开发效果明显转好。

5 结论

1) 薄差层层间干扰现象随渗透率级差增加而加剧; 渗透率级差越大, 对表外储层采出程度的影响越大, 动用效果越差。

2) 表外储层油水前缘突破后, 日产油量和含水率随渗透率级差的变化加剧; 优势通道影响下, 物性较好的表内薄层为主要油流通道。

3) 采出程度随渗透率级差的增加呈对数关系下降; 结合储层特殊物性及矿场生产对薄差层有效开发的要求, 综合确定薄差层合采渗透率级差应控制在 20 以内。

[参考文献]

- [1] 冯其红, 王相, 王波, 等. 非均质水驱油藏开发指标预测方法 [J]. 油气地质与采收率, 2014, 21 (1): 36~39.
- [2] 于翠玲, 林承焰. 储层非均质性研究进展 [J]. 油气地质与采收率, 2007, 14 (4): 15~19.
- [3] 宋洪庆, 朱维耀, 沈全富, 等. 低渗透非均质油藏动用程度评价新方法 [J]. 特种油气藏, 2009, 16 (1): 64~67.
- [4] 胡伟, 闫超, 陈正涛, 等. 大庆油区杏六区中部油藏三次加密合理布井方式 [J]. 油气地质与采收率, 2013, 20 (6): 73~75.
- [5] 刘义坤, 王凤娇, 胡超洋, 等. 薄差储层油水渗流规律研究 [J]. 特种油气藏, 2013, 20 (5): 89~92.
- [6] 胡望水, 曹春, 何海泉, 等. 新立地区嫩三段储层非均质性及其影响因素分析 [J]. 岩性油气藏, 2012, 24 (6): 20~26.
- [7] 沈瑞, 赵芳, 高树生, 等. 低渗透纵向非均质油层水驱波及规律实验研究 [J]. 油气地质与采收率, 2013, 20 (4): 91~93.
- [8] 牛彩云, 李大建, 朱洪征, 等. 低渗透油田多层开采层间干扰及分采界限探讨 [J]. 石油地质与工程, 2013, 27 (2): 118~120.
- [9] 周延军. 不同渗透率级差组合与水驱采收率关系研究 [J]. 长江大学学报 (自然科学版), 2011, 8 (3): 55~57.
- [10] 于春生, 李闯, 乔国安, 等. 纵向非均质油藏水驱油实验研究 [J]. 西南石油大学学报 (自然科学版), 2009, 31 (1): 84~86.
- [11] 许建红, 钱俪丹, 库尔班. 储层非均质对油田开发效果的影响 [J]. 断块油气田, 2007, 15 (5): 29~31.

[编辑] 黄鹏

(上接第 30 页)

[参考文献]

- [1] Moutaz Al-Dabbas, Jassim Al-Jassim, Saad Al-Jumaily. Depositional environments and porosity distribution in regressive limestone reservoirs of the Mishrif Formation, Southern Iraq [J]. Arabian Journal of Geosciences, 2010, 3 (1): 67~78.
- [2] 罗蛰潭, 王允诚. 油气储集层的孔隙结构 [M]. 北京: 科学出版社, 1986: 31~40.
- [3] Babadagli T, Al-Salmi S. A review of permeability-prediction methods for carbonate reservoirs using well-log data [J]. SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 2004, 7 (2): 75~88.
- [4] Gomaan N, Al-Alyak A, Ouzzane D, et al. Case study of permeability, vug quantification, and rock typing in a complex carbonate [J]. SPE102888, 2006.
- [5] Burrowes A, Moss A, Sirju C, et al. Improved permeability prediction in heterogenous carbonate formations [J]. SPE131606, 2010.
- [6] Mohaghegh S. Virtual-intelligence applications in petroleum engineering: Part 1-artificial neural networks [J]. Journal of Petroleum Technology, 2000, 52 (9): 64~72.
- [7] Trevizan W, Netto P, Coutinho B, et al. Method for predicting permeability of complex carbonate reservoirs using NMR logging measurements [J]. Petrophysics, 2014, 55 (3): 240~252.
- [8] Al-Farisi O, Belgaied A, Elhami M, et al. Electrical resistivity and Gamma-ray logs: Two physics for two permeability estimation approaches in Abu Dhabi Carbonates [J]. SPE88687, 2004.

[编辑] 龚丹