

[引著格式] 刘子祎, 谷建伟. 网格粗化对数值模拟计算结果的影响分析 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2015, 37 (1+2): 44~46.

网格粗化对数值模拟计算结果的影响分析

刘子祎, 谷建伟 (中国石油大学 (华东) 石油工程学院, 山东 青岛 266580)

[摘要] 网格粗化技术既减少了地质模型网格块的数量, 又保持了与实际地层相匹配的性能, 使模拟结果可靠性强。为了深入研究网格粗化技术对数值模拟计算结果的影响特征, 从网格粗化方式、网格粗化程度、平面地层参数分布规律、纵向地层特征 4 个方面, 通过对比不同的网格粗化方法, 改变网格粗化步长, 改变地层平面渗透率级差, 以及改变地质模型渗透率层间级差, 研究了其对数值模拟计算结果的作用机理。最终得出了不同条件下, 网格粗化对油藏地质模型数值模拟计算结果的影响特征。

[关键词] 网格粗化; 数值模拟; 地层参数; 影响特征

[中图分类号] TE319 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1000-9752 (2015) 01+02-0044-03

尽管目前计算机技术发展日新月异, 工作站效率突飞猛进, 但油藏精细描述产生的海量网格块仍需要消耗大量的 CPU 时间, 耗费巨大的计算费用、存储量等, 故而油藏精细描述技术一直无法广泛应用于数值模拟^[1,2]。网格粗化技术利用数学插值方法, 分别从尺寸和属性两个方面将小网格合并为大网格, 既可以保持原始地层的基本信息, 又减少了网格块的数量, 节省了计算时间, 提高了数值模拟工作效率, 愈发受到油藏工作者的青睐^[3]。

通过对模型渗透率的粗化, 分别进行了网格粗化方法优选、网格粗化程度分析以及地层的纵向不均质性、平面渗透率非均质性等方面的研究。从理论化的角度给出了系统性的结论, 以期为其他油藏科研工作者提供可借鉴的材料。

1 网格粗化方法选择

目前, 广为油藏工作者所使用的粗化方法分为 3 类: 简单平均法、复合平均法和基于三维数值解的流动法。在此选取算术平均法、几何平均法、调和-算术平均法和非流动边界平均法作为代表进行研究。

构建概念模型, 模型体积为 $300\text{m} \times 300\text{m} \times 5\text{m}$, 纵向均匀分为 5 层, 符合正韵律地质沉积规律。注采近于平衡, 布井方式为五点法, 采油井之间的距离均为 300m , 注水井位于采油井的中间位置。平面设定步长均为 $3\text{m} \times 3\text{m}$, 则该模型共有 50000 个网格。粗化模型保持注采条件不变, 只将网格步长增大至 $15\text{m} \times 15\text{m}$, 则粗化模型有网格 2000 个。

分别用选取方法对所构建模型渗透率进行粗化, 处理结果表示成粗化模型较精细模型的相对误差如表 1 所示。

综上, 在工程允许的误差范围内, 可以任意选取粗化方法。但是基于三维数值解的非流动边界法, 相对误差更小, 更加接近于精细模型所得的结果。

表 1 粗化模型较精细模型的相对误差统计表

对比项目	不同算法对应的相对误差/%			
	算术平均法	几何平均法	调和-算术平均法	非流动边界平均法
采出程度	0.81	0.76	0.76	0.76
含水率 (第 6 年)	2.73	2.71	2.71	1.66
累积产水量	0.91	0.91	0.91	0.39
油藏平均压力	0.07	0.08	0.08	0.03

[收稿日期] 2014-09-22

[基金项目] 国家油气重大专项 (2011ZX05009-003)。

[作者简介] 刘子祎 (1991-), 男, 硕士生, 现主要从事油气田开发工程方面的研究和学习, liuziyi61@163.com。

2 网格粗化程度影响

针对所构建的模型，为了保证步长的尺度变化覆盖完整，使其满足目前实际工程常用的范围精度，在精细模型（ $3\text{m} \times 3\text{m}$ ）基础上，保持注采参数不变，分别设定网格步长为 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 、 $6\text{m} \times 6\text{m}$ 、 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 、 $15\text{m} \times 15\text{m}$ 、 $20\text{m} \times 20\text{m}$ 、 $30\text{m} \times 30\text{m}$ ，以此对比不同的粗化程度对数值模拟计算结果的影响。分别统计出各个模型的采出程度数据，并做成如图 1 所示曲线图。

从图 1 可以看出，随着网格步长的增加，模型的采出程度有所下降。这是因为网格经过粗化后，单个网格块的体积增大，导致水驱前缘变化较为剧烈，水驱油过程偏离连续驱替过程，变为间断式驱替，同一网格位置处大网格较小网格水油量比例减少，使水的驱替效率变差，故而出现采收率下降的现象。网格步长越大，网格块越大，间断性越强，驱替效率就更差，采收率加剧下降。

另作各个模型的含水率变化曲线，在精细模型（步长 $3\text{m} \times 3\text{m}$ ）基础上，选取网格步长为 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 、 $6\text{m} \times 6\text{m}$ 、 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 、 $15\text{m} \times 15\text{m}$ 、 $30\text{m} \times 30\text{m}$ 各模型，统计其含水率随时间变化规律，如图 2 所示。

从图 2 可以看出，当处于中低含水期时，网格步长越大，同一时间其含水率越高；当处于高含水期时，网格粗化程度对含水率的影响较小，各含水率曲线近似趋于一致。

这是由于注入水以网格的形式向外传递，单个网格内水的压力是一致的。当单个网格内的含水饱和度达到一定值时，就向周围传播。在同等压力梯度下，小网格的压力变化范围较小，很容易达到较高含水饱和度。所以在接近注水井地带，小网格的含水量较高。定量注采时，相同时间注入量是一定的，大步长的网格较小步长网格传播的距离就远，见水之后，产出的水更多。

3 平面非均质性对数值模拟计算结果的影响

通过改变地层平面渗透率的级差，来设定不同的平面非均质地层条件，级差内容分别包括 1、3、6、10、20 共 5 种。基础精细模型及注采条件依然采用上述所构建模型，统计各粗化模型采出程度数据结果如表 2 所示。

从表 2 可以看出，粗化前以及粗化后的各个模型，平面渗透率级差越大，采出程度越低。

在此选取平面渗透率级差分别为 3 和 10 的模型，对比它们的含水率-采出程度变化情况，制成图 3。

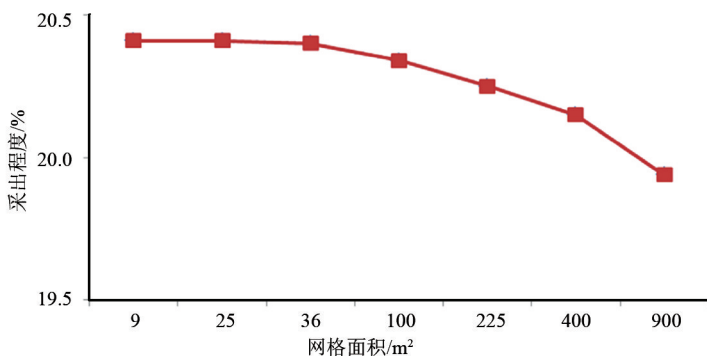


图 1 网格面积与采出程度关系曲线

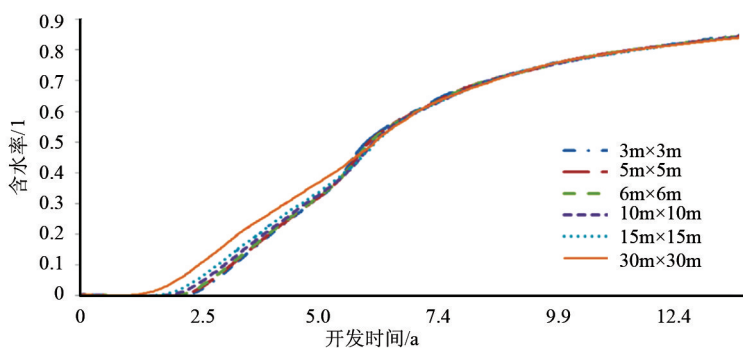


图 2 含水率随开发时间变化曲线

表 2 采出程度统计表

方案	不同级差对应的采出程度/%				
	级差 1	级差 3	级差 6	级差 10	级差 20
粗化前	16.89	16.74	16.15	15.84	15.78
粗化后	16.65	16.2	15.98	15.6	15.53

从图3可以看出,对于不同级差的模型,在同等采出程度下,粗模型均比细模型含水率要高;且在同等网格粗化程度下,级差为10的模型比级差为3的模型同等采出程度下含水率要高。这是因为级差越大,地层非均质性越强,注入水很容易找到高渗通道不断推进。因此,级差大的模型里,注入水就比较容易产出,因而含水率会高。

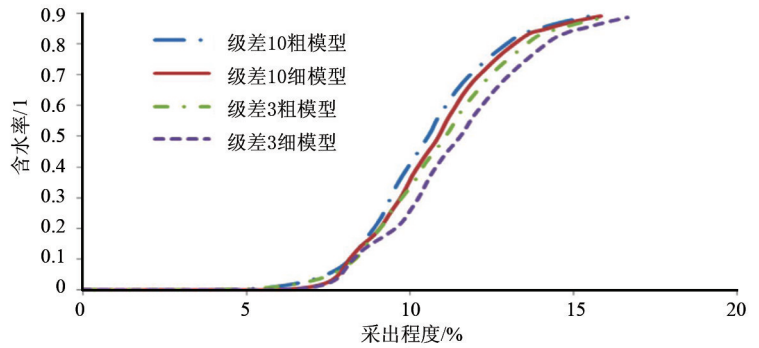


图3 含水率随开发时间变化关系曲线

4 纵向非均质性对数值模拟计算结果的影响

以上述精细模型为基础,分别建立正反韵律条件下,层间级差为1.5、2.3、4、10、20的地质模型,统计其采出程度数据,结果如图4所示。

从图4可以看出,相同韵律和粗化程度条件下,层间级差越大,采出程度越低,其中在层间级差为4时显著下降;且正韵律粗模型的采出程度要低于其精细模型,而反韵律的相反。

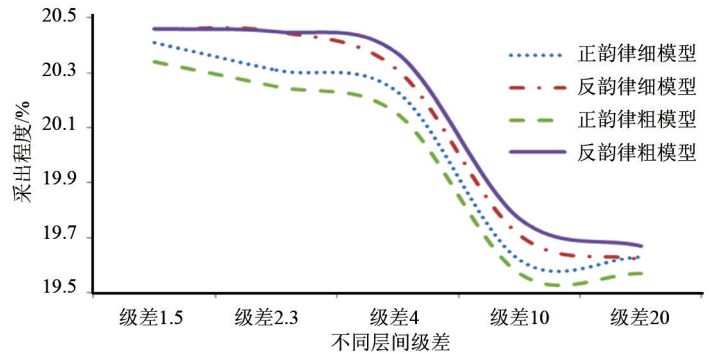


图4 不同层间级差模型的采出程度对比曲线

对于正韵律的模型,网格经过粗化后,单个网格块的体积增大,水驱前缘变化较为剧烈,水驱油过程偏离连续驱替过程,变为间断式驱替,同一网格位置处大网格较小网格水油量比例少,使水的驱替效率变差,故而采收率下降。对于反韵律模型,上部地层的孔隙度、渗透率等都较下部地层要高,注入水在纵向上的驱替过程相当于自吸。网格块粗化变大之后,注入水自吸到上一地层之后可以迅速蔓延传递到整个地层,所以波及到的区域比较大,采收率高。

5 结论

1) 基于三维数值解的非流动边界法较优。

2) 网格步长对中低含水期影响较大,而对高含水期影响较小;网格步长增加,相同条件下见水时间和采出程度有所降低。

3) 对于不同级差的模型,在同等采出程度下,粗模型均比细模型含水率要高;且在同等网格粗化程度下,级差大的模型同等采出程度下含水率要高。

4) 相同韵律和粗化程度条件下,层间级差越大,采出程度越低;且正韵律粗模型的采出程度要低于其精细模型,而反韵律的相反。

[参考文献]

[1] 代曙光. 网格粗化对油藏数值模拟的影响研究 [D]. 成都: 西南石油大学, 2012.
 [2] 朱绍鹏, 张辉, 李茂. 网格粗化技术对油藏数值模拟的影响 [J]. 中国海上油气, 2008, 20 (5): 319~321, 325.
 [3] 李淑霞, 谷建伟. 油藏数值模拟基础 [M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2009: 19~22.