

# 尕斯油田岩性建模算法优选

李密<sup>1</sup>, 李少华<sup>2</sup>, 何火华<sup>2</sup>

(1. 中原油田 普光分公司 采气厂, 四川 达州 635000; 2. 长江大学 地球科学学院, 湖北 荆州 434023)

**摘要:** 比较岩性模型建立方法。首先, 在高分辨率层序地层学的指导下, 最大限度地应用地质、露头、三维地震、测井等静态资料, 发挥井点资料垂向分辨率高, 地震资料横向信息丰富的优势, 在地质规律约束下建立不同时间的高精度等时地层格架模型。然后, 在精细格架模型的基础上, 以测井解释得到的岩相数据作为条件数据, 分别采用指示克里格、截断高斯模拟、Object-modeling 算法、贯指示模拟建立砂体展布模型。最后, 通过抽稀检验评价不同算法对模拟结果的影响, 实现算法及其参数的优选, 从而指导整个区块不同开发阶段, 不同井网密度时全区三维精细地质模型的建立, 也可为具有相似地质环境的油田建立三维地质模型提供参考。通过比较, 优选出指示克里格、序贯指示模拟两种算法都能较好表征本研究区地质情况。

**关键词:** 密井网; 变差函数; 储层格架模型; 沉积相模型

**中图分类号:** P631.4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-8918(2012)02-0293-05

三维精细地质建模在近年来不断发展, 它将地质统计学和计算机技术相结合, 并充分考虑地质学理论、计算机软件 and 油藏开发实际三个方面的因素, 来对储层进行精细研究和表征。其中储层沉积相的研究是储层描述和评价的基础, 也是最重要的工作。进入成熟阶段的油田, 地质认识程度较高, 可以利用地震与测井解释获得的砂体数据, 建立岩性模型。通过砂体的展布规律, 能更好地刻画与油藏的分布密切相关的孔渗物性模型。

在油田的不同开发阶段, 对研究区的认识程度各不相同, 在不同阶段采用何种模拟算法能更好地模拟地质情况, 并没有确定的答案。而且同一油田不同沉积环境、不同区域采用的模拟方法也不相同。

尕斯库勒油田位于柴达木盆地西南部, 至投产以来, 油井产量递减快, 很快进入高含水期, 需要建立本地区的三维精细地质模型<sup>[1]</sup>, 进行油藏数值模拟、剩余油分布研究以及完善注水系统。为了进行模拟方法和模拟参数的优选, 选取尕斯上盘一块面积较小的密井网区, 在 PETREL 软件中, 用指示克里格、截断高斯模拟, 基于目标的河道模拟, 贯指示模拟分别建立砂体展布模型, 通过对模拟结果的抽稀检验来实现算法优选, 从而指导不同开发阶段, 不同井网密度时全区三维精细地质模型的建立。

## 1 密井网区的选择

为了更好地指导整个区块三维精细储层模型的建立, 必须选择合适的能代表本区块地质特征的密井网区。

密井网区要代表整个区块砂体的展布规律; 具有比较完善的各种动、静态资料; 井网密度必须足够大, 而且应该小于平面变差函数的最小变程, 这样才能反映空间结构关系<sup>[2]</sup>。

密井网区位于尕斯库勒油田尕斯上盘, 面积约 1 km<sup>2</sup> (图 1)。目的层段为下油砂山组下部 V 油组第

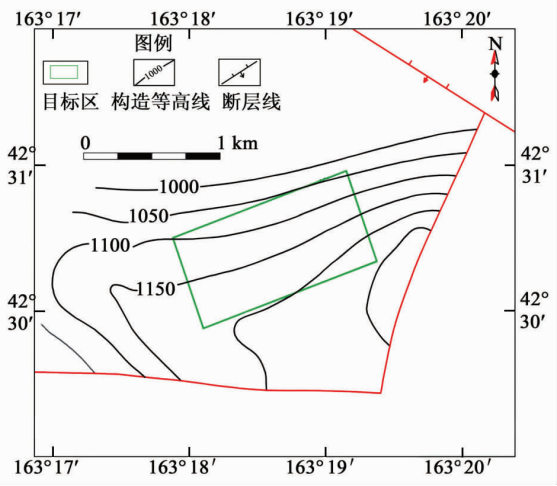


图 1 尕斯上盘密井网区位置

15 小层,平均厚度 3 m,厚度差为 8 m。目的层段最小井距 18 m。物源方向为北西向。尕斯库勒油田下油砂山组沉积期,处于一个水体相对较浅的时期,主要发育辫状河三角洲相、辫状河流相,其中河口坝微相砂体发育,且连片性好。以棕红色,棕褐色砂质泥岩为主,夹棕灰色细砂岩,砾状砂岩。

笔者利用了研究区 105 口井的单井井位坐标、地质分层数据、砂体分层数据、测井解释的岩性数据等相关资料,来研究岩性建模算法。

## 2 模拟算法简介

笔者选取了商业软件中能较好实现而且比较常用的几种沉积相建模算法,来对研究区的砂体展布情况进行模拟并比较,其中有指示克里格法 (IK)、序贯指示模拟法 (SISIM)、截断高斯模拟法 (TGSIM)、Object-modeling 法。

### 2.1 指示克里格 (IK) 法<sup>[2]</sup>

克里格算法不但给出了某一待估区域的估计值,而且给出了估计精度,还考虑了信息样品的形状、大小以及待估区相互之间的空间分布、变量的空间结构信息。对每个样品赋予一定的权值,利用加权平均值法来对待估区域的未知量进行估计,实现线性无偏估计。

指示克里格是基于指示变差函数,对非参数和无分布的区域化变量提出的一种克立格算法。模拟中不必去掉重要而又实际存在的高值数据,而是给出一定风险条件下未知量  $Z(x)$  的估计量及空间分布。该算法认为承载方式为点承载,提供给定承载的空间估计,是确定性建模,产生重复的结果。

### 2.2 序贯指示模拟法 (SISIM)<sup>[4]</sup>

序贯指示模拟是在指示模拟中加入序贯思想。对于三维空间的每一网格(像元),首先通过指示克里格估计各变量的条件概率,并归一化,使所有类型变量的条件概率之和为 1,以确定该处的条件概率分布函数;然后随机提取一个 0~1 之间随机数,该随机数在条件概率分布函数中所对应的变量即为该网格的相类型。在其他各个像元运行这一过程,便可得到研究区内相分布的一个随机图像。

该方法的优点是,可适用于既不知道几何构型,相组合又无排序现象,或者用户用较多的趋势来约束沉积相分布的复杂情况,如用地震数据控制某一特定的相类型出现的概率。序贯指示模拟是基于像元的随机模拟算法,可产生多个模拟实现。

### 2.3 截断高斯模拟 (TGSIM)

截断高斯随机域属于离散随机模型,通过一系

列门槛值截断规则网格中的三维连续变量而建立离散物体的三维分布。高斯随机分布模型完全由协方差  $c(h)$  确定,由于  $c(h)$  是随机变量  $y(u)$  的唯一确定参数,所以它不能确定多个指示协方差<sup>[5]</sup>。

利用不同的界限值对同一实现进行截断可以产生由高斯模型控制的具指示协方差和协相关属性的多个分类指示值。这样的话,可以使数据容易条件化,减小计算量。可以考虑同一截断范围内部的相关性,也可以考虑不同截断界限间的相关性(如岩相模拟,不但要考虑同一岩相内部,更应该考虑不同岩相之间的关系)。

截断高斯模拟所用参数少,同时还包括外部信息,每一相类型具有特定的全局概率以及一个变差函数。适合于相序较简单、排序分布的相组合,如碳酸盐沉积环境、排序的河流相组合以及三角洲平原、前缘和前三角洲的组合<sup>[6]</sup>。

### 2.4 基于目标的模拟

Petrel 软件中,此方法是采用示性点过程的随机模拟,即物体中心点在空间上的分布是相互独立的,符合泊松点过程的,为布尔模拟的概率分布理论。其优点是能较好地再现目标体的几何形态,但每类具有不同的几何形状的目标体均需要有特定的一套参数,对复杂几何形态,参数化比较困难。目标体的几何学输入控制了储层的形态,但这个过程是不确定性的,目标体中每个岩体都要与井数据相匹配,而且需要满足确定的统计分布或者给定的趋势图,如果全局分布过低,则增加目标体以达到要求的相比比例<sup>[7]</sup>。此方法适用于预知相(如河流相)的几何构型(几何形态和组合方式)的目标区。

## 3 参数设置

### 3.1 网格划分

密井网区位于尕斯上盘,目标层段为下油砂山组下部 V 油组第 15 小层。三维工区大小为 820 m × 1 260 m × 8 m),垂向包含一个小层,划分为 5 个网格。平面网格大小为 10 m × 10 m,共有 82 × 126 × 5 个网格。

为了更好的满足地质规律,垂向上网格大小按比例分配,所以在进行结果检验时不选择网格数,而是统计检验井井位处准确模拟的砂体厚度百分比,作为比较标准<sup>[2]</sup>。

### 3.2 抽稀参数设置

首先从研究区 105 口井中均匀抽取不同密度的井,建立岩相模型,然后提取余下所有井在模型中其井位处所模拟的岩相数据,与这些井位的测井解释

的岩相数据进行比较。统计准确模拟的砂体厚度所占总厚度百分比。分为以下几种井网密度(表1)。

| 表 1 不同井网密度 |     |     |     |     |     |     |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 井网密度       | 1/7 | 2/7 | 3/7 | 4/7 | 5/7 | 6/7 |
| 模拟井数       | 15  | 30  | 45  | 60  | 75  | 90  |
| 检验井数       | 90  | 75  | 60  | 45  | 30  | 15  |

3.3 变差函数

变差函数是地质统计学的基本工具,在进行岩相模拟之前,必须分层位建立不同岩相的变差函数,其核心是确定不同方向的变程<sup>[8]</sup>。根据变差函数基本原理,在 PETREL 软件中,由 105 口井的沉积相数据,结合前期定量地质知识库的认识,来计算实验变差函数,并加以拟合。最后将得到的实验变差函数用于不同井网密度的模拟中。通过分析和计算,确定砂岩的变差函数主方向为 -45°,变程为 800 m,次方向变程为 200 m,垂向变程为 3 m,块金值均设为 0。

3.4 基于目标模拟的参数设置

基于目标的随机模拟方法是对背景相中的目标(如河道,隔夹层等)进行模拟。本研究区是在泥岩背景下模拟砂体。综合地震、测井以及前人的地质认识<sup>[9-10]</sup>等资料确定砂体的具体参数(表2)。砂体设为椭球体,最小宽度指与物源方向垂直的砂体宽度,最大宽度指与物源方向平行的砂体宽度。参

| 表 2 砂体参数 |      |      |      |
|----------|------|------|------|
| 类别       | 最小值  | 平均值  | 最大值  |
| 物源方向     | -50° | -45° | -40° |
| 最小宽度/m   | 120  | 200  | 280  |
| 最大/最小宽度  | 3    | 4    | 5    |
| 厚度/m     | 2    | 3    | 4    |

数都采用三角分布,在最大值、平均值、最小值组成的数值三角形中随机抽取一个作为目标点的属性。

4 模拟结果的分析

影响模拟结果优劣的因素很多,对于那些无法消除的误差,采用在同一井网密度,不同模拟算法间使用相同的参数设置,来降低人为的、技术的误差对不同算法间模拟结果的比较造成的影响<sup>[11]</sup>。

抽稀检验过程为:①数据准备:地质测井数据,地质分层、砂体分层数据,井位数据等;②参数设置:抽稀的密度选择、变差函数的确定、模拟算法的选择;③通过已知分层数据,在地质规律约束下建立高精度等时地层格架模型;④在精细格架模型中,用密井网的沉积相数据按不同算法、不同井网密度来建立沉积相模型;⑤从模型中提取检验井位处每个网格的沉积相数据,并与它们原始的测井数据按网格进行比较,并统计正确模拟的砂体厚度所占百分比;⑥分析模拟结果。

从图2可以看出,基于象元的序贯指示模拟算法边界不光滑;指示克里格则出现相边界过平滑的现象;Object-modeling 算法在局部位置不能满足条件数据;截断高斯模拟砂体连续性较差。

从图3的统计结果可以看出,指示克里格模拟准确性明显高于其他三种算法,稳定性也较好,当选择6/7井模拟时准确性达到89.5%,说明在条件数据比较充足时,结果比较可靠。序贯指示模拟结果也较准确,而且序贯指示模拟是随机算法,能产生多个模拟实现,可通过这多个模拟实现的重复来实现模型的优选。

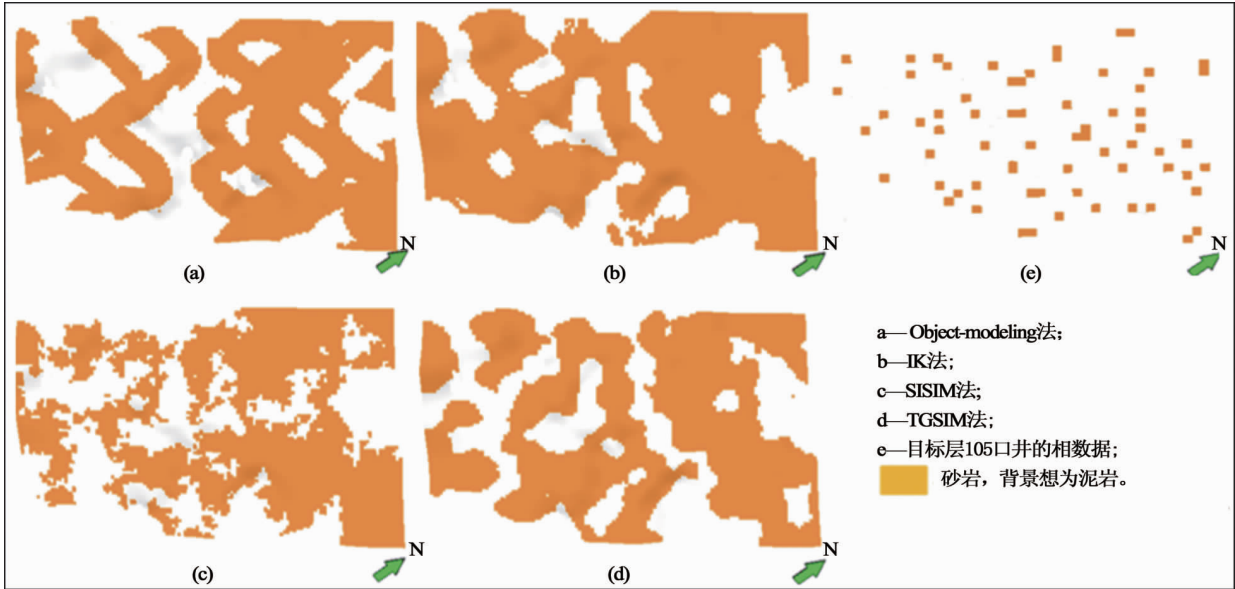


图 2 4/7 井网密度时不同算法的模拟结果

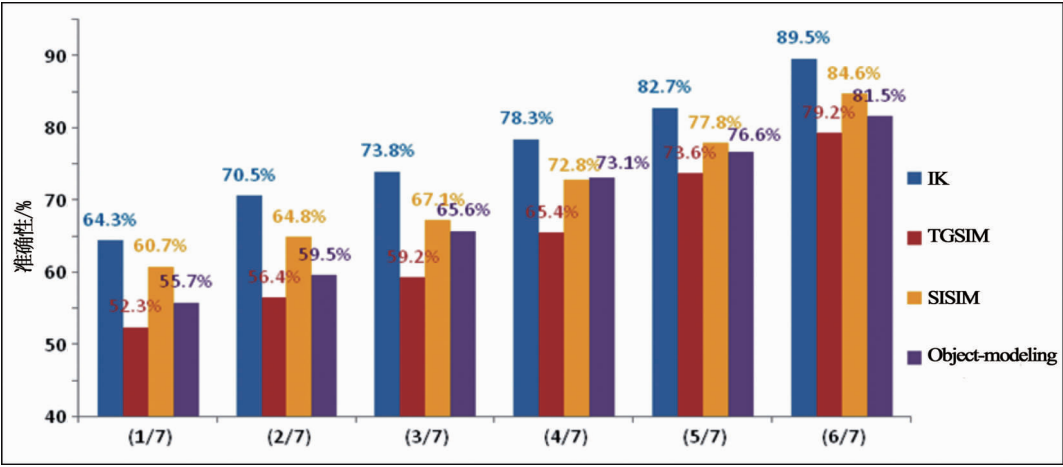


图 3 不同井网密度模拟结果比较直方图

5 结论

在油田的不同开发阶段,对油区了解程度不同,为了建立精细的三维地质模型,则模拟方法的选择非常重要。

(1)正确求取变差函数是建立微相模型的关键问题。但算法和参数灵活性太大,人为因素很明显。这里同一井网密度,不同算法采用相同的变差函数,旨在使变差函数的差异不影响模拟结果的比较。

(2)经过对密井网区的抽稀检验,确定性的指示克里格算法,其模拟结果明显优于其他三种方法,说明在条件数据较充足时此方法比较适用。序贯指示模拟也能较好表征储层地质情况。截断高斯模拟和 Object-modeling 模拟在这里模拟效果较差,通过比较,说明这两种方法不适合模拟本研究区的地质情况。

(3)确定性的指示克里格模拟只能产生相同的模拟结果。序贯指示模拟可产生多个模拟结果,可综合多个模拟结果的信息,计算各沉积相的概率分布,以减少单个模拟实现的偶然性。所以本研究区可采用序贯指示模拟与指示克里格相结合,相互验证实现模拟结果的优选,指导做出正确的开发决策。

参考文献:

[1] Hirsche K,Boerner S,Kalkomey C,et al. Avoid pitfalls in geostatistical reservoir characterization: a survival guide[J]. The leading edge,1998,17(4):493-504.

[2] 郭燕华,袁士义,宋新民. 密井网区辫状河道砂体精细地质建模方法研究[J]. 地球学报,2003,24(Z1):294-298.

[3] 刘永社,印兴耀,贺维胜. 空间相关分析因素对储层建模中克里金估计结果的影响[J]. 石油大学学报:自然科学版,2004,28(2):24-27.

[4] 李少华,张昌民,汤军. 顺序指示模拟方法及其在濮城油田储层非均质性研究中的应用[J]. 江汉石油学院学报,1999,21(1):13-17.

[5] 黄沧钿. 应用改进的截断高斯模拟算法建立相分布模型[J]. 新疆石油地质,2002,23(2):158-159.

[6] 胡雪涛,李允. 储层沉积微相的随机模拟及其对比研究[J]. 西南石油学报,2000,22(1):16-19.

[7] 李少华,张昌民,尹艳树. 河流相储层随机建模的几种方法[J]. 西安石油学院学报,2003,18(5):10-16.

[8] 矫希国. 变差函数参数计算[J]. 地质评论,1997,43(6):658-663.

[9] 王仲林,徐守余. 河流相储集层定量建模研究[J]. 石油勘探与开发,2003,30(1):75-78.

[10] 吕晓光,姜彬,李洁密井网条件下的储层确定性建模方法[J]. 大庆石油地质与开发,2001,20(5):19-24.

[11] 段天向,刘晓梅,张亚军,等. Petrel 建模中的几点认识[J]. 岩性油气藏,2007,19(2):102-107.

THE OPTIMIZATION OF ALGORITHMS FOR LITHOLOGIC MODELING  
IN THE GASI OIL FIELD

LI Mi<sup>1</sup>, LI Shao-hua<sup>2</sup>, HE Huo-hua<sup>2</sup>

(1. The Puguang branch of Zhongyuan Oil Field, Dazhou 635000, China; 2. School of Geosciences, Yangtze University, Jingzhou 434023, China)

**Abstract:** This paper deals with optimizing algorithms of lithologic modeling. Firstly, under the guidance of high resolution sequence stratigraphy, geological, outcrop, seismic, logging and other static data are applied to the fullest possible extent. The logging data ad-

vantage of high vertical resolution and the seismic data advantage of rich lateral information are exploited to the full to establish the high accuracy isochronous stratigraphic model under the restraint of geological regularity. Then, taking the petrographic data obtained from well log data as the condition data, and using indicator kriging algorithm, truncated Gaussian simulation, object-based simulation and sequential indicator simulation, we can establish the sand body distribution model. Lastly, algorithms are optimized through sampling inspection so as to establish three-dimensional high-precision geological model under the conditions of different well densities and different development stages. It may contribute to establishing 3D geological model in some oilfields with similar geological backgrounds. A comparison shows that the optimized indicator kriging and sequential indicator simulation can better characterize geological features of the target area.

**Key words:** dense drilling; variogram; reservoir frame model; sedimentary facies models

**作者简介:** 李密(1984 - ),男,长江大学矿产普查和勘探专业在读硕士,主要从事储层地质建模方面的研究和工 作,公开发表学术论文数篇;通讯作者李少华,联系方式:E-mail:jpishli@163.com。

上接 276 页

## GEOCHEMISTRY AND ENVIRONMENTAL QUALITY ASSESSMENT OF HONGFENG LAKE SEDIMENTS, GUIYANG CITY

HE Shao-lin, LI Chao-jin, PAN Zi-ping, LUO Ming-xue, MENG Wei, MO Chun-hu, WANG Fang  
(Guizhou Geological Survey, Guiyang 550004, China)

**Abstract:** Multi-purpose geochemical survey in the Hongfeng Lake of Guiyang City shows that its pH values are between 7.3 and 7.5 suggesting an intermediate and somewhat alkaline environment. Lacustrine sediments are characterized by entrophication, high concentration and enrichment of C, Corg, N, S F and P and hidden dangers of heavy metals such as As, Cd and Hg. The concentration of As is between  $(34.6 \sim 52) \times 10^{-6}$ ,  $40.8 \times 10^{-6}$  on average, exceeding the Grade III of Environmental Quality Standard for Soils. According to year-round monitoring and monthly sampling, the pH values of lake water are between 7.5 and 8.0, also implying an intermediate and somewhat alkaline environment, and the total N exceeds Environmental Quality Standards for Surface Water. The authors consider that the water quality of the lake may be impacted by geochemistry of lake sediments, and hence put forward some proposals for eco-environmental protection of important water source sites in Guiyang City on the basis of a comprehensive study of sediments and water in the lake.

**Key words:** lacustrine sediments; water quality of the lake; geochemical survey; environmental quality assessment; Hongfeng Lake in Guiyang City

**作者简介:** 何邵麟(1964 - ),湖南邵阳人,地质工程硕士,研究员,长期从事勘查地球化学生产、管理和科研工作。