

文章编号: 1673- 8926(2007) 02- 0102- 06

Petrel 建模中的几点认识

段天向¹, 刘晓梅¹, 张亚军¹, 肖述琴²

(1. 中国石油勘探开发研究院西北分院, 甘肃 兰州 730020;

2. 长庆油田分公司油气工艺技术研究院, 陕西 西安 710021)

摘 要 相建模是储层建模的关键,它为储层参数的模拟提供了储层骨架。作者对目前常用的几种相建模方法进行分析,提出岩相建模中利用泥质含量与综合测井解释进行岩相重构的方法,该方法适用于没有足够细致的沉积微相研究,最后,阐述了变差函数的原理及重要性,针对求取变差函数过程中存在问题进行分析,提出了一套可行的方法,在实际操作过程中取得了较好效果。

关键词 : Petrel; 相建模; 变差函数

中图分类号 : P315.0

文献标识码: A

Discussion on geologic modeling with Petrel

DUAN Tian-xiang¹, LIU Xiao-mei¹, ZHANG Ya-jun¹, XIAO Shu-qin²

(1. Research Institute of Petroleum Exploration & Development-Northwest(NWGI), PetroChina, Lanzhou 730020, China;

2. Oil & Gas Technology Research Institute, Changqing Oilfield Company, Xi'an 710021, China)

Abstract: As the key in the process of reservoir modeling, facies modeling provides reservoir framework for the simulation of the reservoir parameters. Based on the analysis of several commonly used facies modeling, it was presented that using shale content and comprehensive well log interpretation to reconfigure lithofacies in lithofacies modeling, which is available for the work area without sufficient accurate sedimentary microfacies study. The principle and importance of the variogram were expounded. A set of effective methods was suggested referred to the problems occurred in the process of variogram calculation. The effectiveness of these methods has been proved in practice.

Key words: Petrel; facies modeling; variogram

0 引 言

20 世纪 80 年代发展起来的以井资料为主的三维地质建模技术,目前已成为油田开发阶段油藏研究的重要手段之一。Schlumberger 公司的 Petrel 虽然在地震解释方面有不错的表现,但已经不再是仅仅定位在建模上的勘探开发一体化工具,建模仍然是它的突出特点^[1]。

在完成构造建模的基础上,分 2 个阶段进行建模:采用针对离散变量(如岩相)的模拟方法,建立储层骨架模型;在储层骨架边界的控制下,应用针

对储层连续性变量的模拟方法建立储层参数模型,相建模是 2 个阶段建模的关键^[2,3]。笔者旨在探讨 Petrel 软件中进行相建模和变差函数求取中的几点认识。

1 相模型的建立

相分布控制着砂体分布,只有砂体内才具有有效的储层参数,不同相的储层参数分布规律不同,相控建模过程充分体现了地质思维和地质知识,更增加了地质因素对于属性模型的控制。尤其是对于成

收稿日期 2007-04-20,修回日期 2007-05-10

作者简介:段天向,1978 年生,男,工程师,目前主要从事开发地质、油藏描述等工作。E-mail: dtx2003@163.com

岩与后生改造作用不强的储层, 原始沉积作用控制着储层宏观非均质性, 沉积相带的交替是制约储层性质的根本因素^[4], 当没有相约束时, 各个储层参数建模之间的差别相当大, 用沉积相或者岩相约束进行相控建模成为必然选择。

相控建模时可采用沉积相约束和岩相约束 2 种方法, Petrel 在相建模和属性建模中采用了 GSLIB 中成熟的技术和方法。随机模拟的方法很多, 目前应用最多、最成功的方法是序贯模拟方法, 至于模拟相模型时采用哪种计算方法, 这里不再赘述。

尽管 Petrel 提供了多达 7 种建立相模型的方法, 笔者仅就实际操作过程中常用的 3 种进行讨论。

1.1 手工勾绘沉积相图

使用手工勾绘的沉积相图作为约束条件时, Petrel 中的相控建模, 就变成了相带图的立体化, 模拟出的孔、渗边界就是生硬的沉积相边界。相的引入是作为参数模拟的边界条件, 在不同相的内部实现参数模拟, 笔者认为这种做法使 Petrel 的功能削弱了。可见, 手工勾绘沉积相图只适于对随机模拟的相模型进行局部修改。

1.2 采用岩相模型代替沉积相模型

当没有足够细致的沉积微相研究时, 模拟的沉积相模型的精细程度将有所欠缺, 进而导致井间单砂体的连通性、砂体的尖灭及砂体内部的泥岩夹层等得不到很好的反映; 相反, 当用泥质含量曲线划分岩相时, 模型的纵向分辨率可以直接和 0.125 m 采样率的电测曲线进行对比, 单砂体的连通性、砂体的尖灭等都得到很好的反映。

可采用 2 种划分方法计算岩相模型: 用综合测井解释成果; 用测井解释的泥质含量曲线。

(1) 直接利用解释结论计算划分岩相的具体做法是: 将解释结论归类, 致密层、干层转换为致密砂岩, 差油层转换为 II 类砂岩, 油层转换为 I 类砂岩, 未解释的层段直接归为泥岩。这种方法相当于人工滤波, 得到的岩性也比较准确, 为直接用解释结论计算的泥岩相。

(2) 利用测井解释的泥质含量曲线划分测井岩相时, 也可相应地划分出 4 种岩相, 对已标准化、归一化的曲线来说, 划分标准为:

泥岩: V_{sh} (泥质含量) $> 40\%$;

致密砂岩: $30\% < V_{sh} < 40\%$;

II 类砂岩: $15\% < V_{sh} < 30\%$;

I 类砂岩: $V_{sh} < 15\%$ 。

以上 2 种划分方法各有优缺点, 利用综合测井

解释所划分的岩相考虑因素较全面, 但难免会漏划掉隔层和夹层; 测井解释的泥质含量则仅仅依靠自然伽马或者电阻率来区分岩性, 但它在垂向上具有较高分辨率。于是考虑将两者结合起来, 重构一条泥质含量曲线。

采用测井解释的泥质含量曲线和综合测井解释成果重构岩相, 具体方法是: 先用综合解释结论计算划分岩相, 最后以此岩相作为约束条件, 利用 Petrel 提供的属性计算器重构出一条岩性曲线。

用 2 种方法划分的岩相进行对比 (图 1)。其确定划分标准是有助于储集砂体的识别。即保证将断块内良好的储集砂体与其它岩性分开, 同时将良好的隔层划分到泥岩内。这种方法划分的岩相既不同于岩石学上的岩性, 也不同于沉积学上的沉积相, 完全是根据生产的需要而设定。

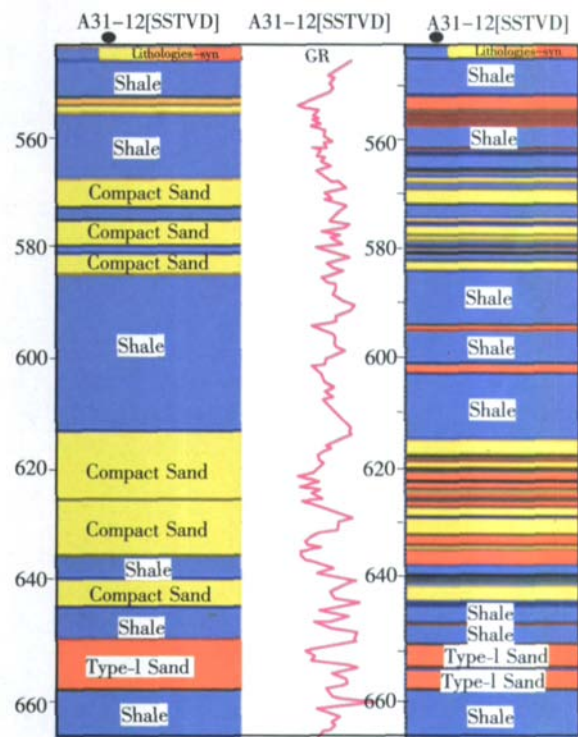


图 1 用 2 种方法划分的岩相
Fig. 1 Lithofacies divided by two methods

我们以砂体连通剖面图作为检验依据, 最终的岩性模型在平面上和剖面上很好地反映了砂体的分布及岩性模型的平面分布 (图 2), 并为勘探开发的部署提供了可靠的依据。

1.3 趋势面约束相建模

应用趋势面进行相建模的优势在于它所模拟的相模型在平面上可以与手工勾绘的砂岩厚度图或沉积相图具有很好的吻合性, 纵向上又可遵守各种相的纵向概率分布, 是一种较为理想的相建模方

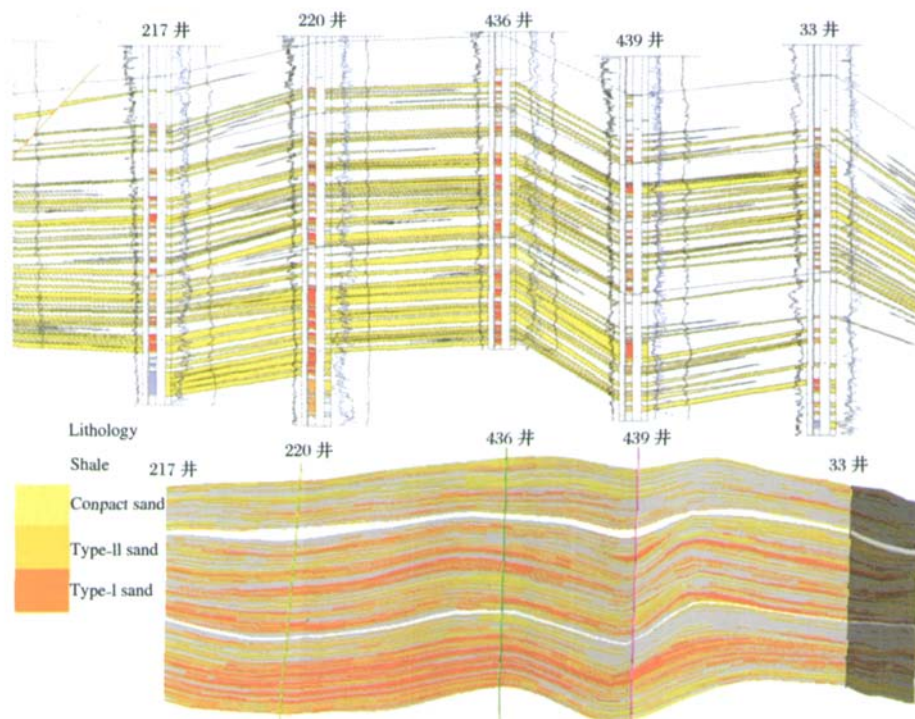


图 2 模拟岩相剖面与砂体连通剖面对比
Fig. 2 Comparison of simulated lithofacies and sand body profiles

法。应用砂岩厚度图或沉积相图的数字化边界数据进行处理得到趋势面。图3a是根据手工勾绘的砂岩厚度图得到的趋势面,展示了几条源自北东方向的河道,图3b是根据该趋势面模拟的相模型。

2 变差函数求取

属性模型是在建立相分布模型的基础上,利用已知的井数据和(或)地震数据,通过分层位、分相带建立变异函数模型,运用一定的插值(或模拟)方

法建立不同的连续变量的分布模型,以更精确地表征储层参数场的空间变化情况。

2.1 变差函数

变差函数是地质统计学的基本工具,它既能描述区域变量的空间结构性,也能描述其随机性,是进行随机模拟的基础(图4),变差图中有3个主要特征值是 α 、 C 及 C_0 ,这3个特征值反映了储层参数的空间变化特征,由图中的几何形态可以看出,在 origin 附近,变差函数值随着距离的增大而增大。所谓的变

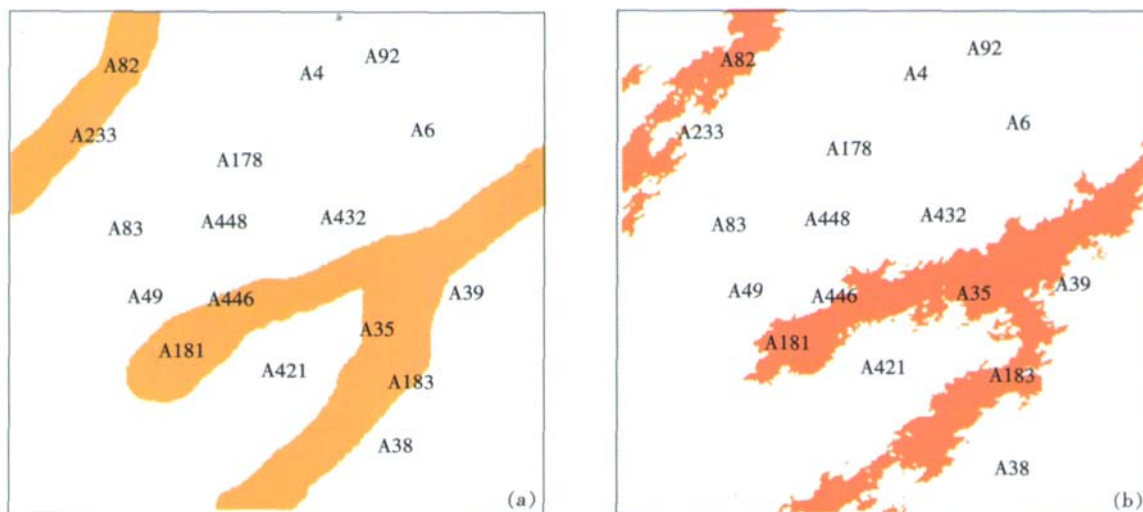


图 3 趋势面约束相建模
Fig. 3 Facies modeling is constrained with trend surface
(a) 趋势面; (b) 相模型

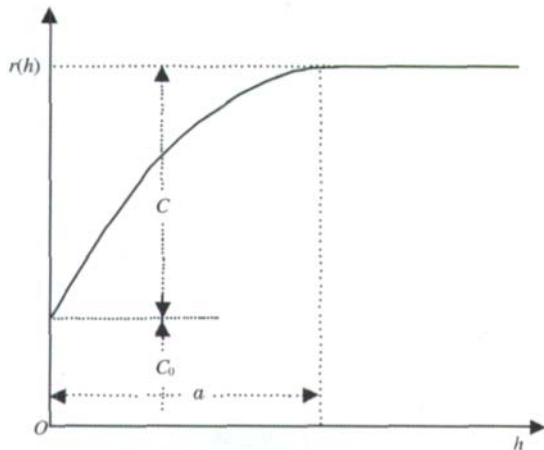


图 4 变差函数示意图
Fig. 4 Chart of variogram

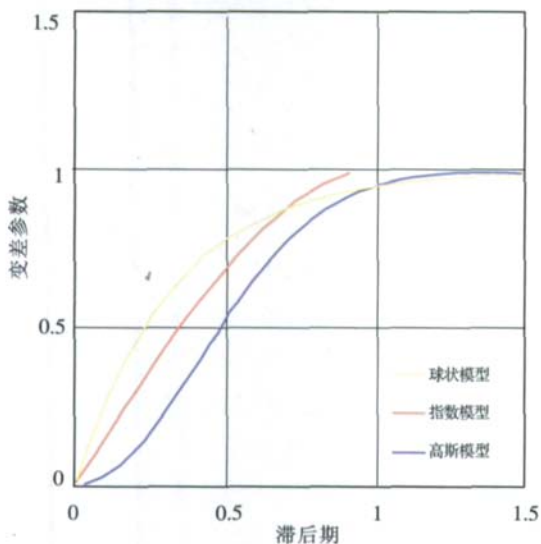


图 5 不同类型的模型
Fig. 5 Different types of models

程 a 是指当距离超过某一范围之后, 变差函数值不再增大而稳定在一个极限值附近, 这个范围称为变程。对于纵坐标的极限值 $(C+C_0)$ 和块金常数 C_0 (指原点处的变差函数值) 是测量误差和微矿化结构所致。变程 a 反映了区域变量的相关范围, 在变程范围内, 区域变量具有空间相关性; 在变程范围外, 区域变量不再具有空间相关性。在计算变差函数时, 分别计算 3 个方向的变差函数, 并不断变换主方向的角度, 以充分分析各向异性, 基台值能反映储层参数在某个方向变化的幅度。

变差函数类型有球型、指数型、高斯型 3 种类型。应用各种类型模型时, 储层参数沿某个方向的变化速度不同。

从图 5 可看出, 球型变差函数的优点是能够快速达到台基。当变差函数到达台基后, 即使再增加变程, 函数值不再变化, 即交点以外的采样点的贡献为

零, 根据交点确定变程内的自变量已能完整地反映变量的变化。

主方向的确定及原始样本变差函数在各方向上的变程参数选择主要是变差函数参数的求取。变差函数的变程大小, 不仅能反映某个区域变量在某一方向上变化的大小, 同时还能从总体上反映出区域变量的载体 (如砂岩) 在某个方向的平均尺度, 从而可利用变程来预测砂体的某个方向的延伸尺度, 以实现预测砂体规模为目的。

对于储层属性模型的模拟, 目前应用最多的是序贯高斯模拟方法。在序贯高斯模拟中, 条件数据首先转化为标准高斯值, 来确定转换后数据的变差函数。在每个节点处, 根据模拟值和条件数据得到克里金估计值以及相关的克里金方差被用来确定条件高斯分布。然后从分布中随机抽取, 得到一系列的储层参数建模。最后, 将高斯模拟结果转化为原始数据空间。这种随机模拟方法的缺点在于变量的分布要求服从高斯分布, 而且算法和参数灵活性太大, 人为因素太多。

由序贯高斯模拟的特点可以看出, 正确求取变差函数是序贯高斯模拟的关键。笔者将着重讨论 Petrel 中变差函数的求取。

在 Petrel 中进行油藏属性建模 (Petrophysical Modeling) 时先要作数据分析 (Data Analysis), 数据分析包括数据变换和变差函数分析。变差函数反映储层参数的空间相关性, 能否求得理想的变差函数, 并将成果应用到属性模型的建立中, 是随机建模工作的关键。

2.2 数据分析

如果不进行数据分析而直接进入属性建模流程 (该流程中也提供了数据分析的界面), 就会使其选项过于简化, 实际上已经不是真正意义上的数据分析了。因此, 建议在 Data Analysis 流程中进行数据分析。

2.3 数据变换

Petrel 将数据变换作为所有变差函数求取的开始是随机建模思想在 Petrel 中的具体体现, 因为高斯模拟算法的第一步便是将所有条件数据 (硬数据和已模拟实现的数据) 进行正态变换, 从非正态分布变换为正态分布, 作为先验条件概率分布。数据变换中的各种变换常用的是 Input Truncation、Shift Scale、Logarithmic 和 Normal Score。

Normal Score 变换是任何一个变换组合中必不

可少的, 因为该变换是变差函数分析的前提条件, 它一般放在变换组合的最后面。当样品数足够多及样品的自然分布接近正态分布时, Normal Score 的设置可采用其默认设置, 即 Use values。当没有足够的样品时, 可根据变量的区域性统计分布规律, 应用“Define curve”交互式的定义样本的概率分布。

2.4 变差函数分析中主方向的选择

理论上讲, 主方向是指样点间相关性最好的方向。变差函数对不同方位角很敏感, 显然, 主方向上具有最大的变程。变差函数的变程大小不仅能反映某区域变量在某一方向上变化的大小, 同时还能体现出区域变量的载体(如砂体)在某个方向上的平均尺度, 从而可利用变程来预测砂体在某个方向上的延伸尺寸, 以实现预测砂体的规模。比较不同方向

变差函数拟合的变程, 选取变程最大的作为主方向, 但在实际建模过程中, 还需参考地质原型模式来估计变差函数的各项参数, 即根据河道发育的方位、延伸长度、河道宽度、纵向沉积单元厚度来确定主方向和主次变程。

实际操作中可通过 2 种方法相互印证来确定主方向: 一种是参考沉积相图; 另一种是参考某种属性的等值线或者趋势面图。注意这种等值线要使用非克里金算法作出, 因为克里金算法已经用到变差函数了。

2.5 变差函数模型的选择

常规的变差函数模型有指数模型、球状模型和高斯模型。这 3 种模型定义的某样点影响其周围的点。当变程和块金常数确定时, 已知样点对周围未知点的影响依次增加。实际工作中所用到的区域变量从以上 3 种模型中进行选择及组合, 其中应用较多的是球状模型。

2.6 关于变程的拟合

变程的求取在变差函数分析中至关重要, 特别是在相建模中, 它表征了砂体在某个方向的延伸尺度, 从而实现了预测砂体的规模。Petrel 中的很多默认选项都不是最佳的, 比如数据分析中的主方向和次方向变程的默认值都被设为 2000 m, 而在属性建模自带的数据分析界面中主方向和次方向变程的默认值都分别是 1 000 m 和 500 m, 显然不能使用这些默认值作为变程。对于不同的参数和不同的沉积相, 这 2 个值会有所不同。比如渗透率的影响因素较孔隙度多, 其变化剧烈程度比孔隙度大。因此相同微相、相同层位的孔隙度变程要略大于渗透率的变程, 即孔隙度的空间连续性较好, 它在 3 个方向的变程都将比孔隙度小。

确定主方向之后, 即可利用以上谈到的 3 种变差函数模型进行组合, 以求取变程。但实际应用中, 并不是所有的变差函数组合都像图 4 示意的那么典型, 变程往往是知道取值范围而难以准确确定。此时, 可以在趋势面约束下进行相建模, 并分别试用不同大小的变程, 直到所得到的相模型平面分布与沉积相图基本吻合为止。如图 6 所示, 在此例中仍然采用图 3a 所示的趋势面。当变程偏小时, 相模型内部储层骨架连续性差; 当变程偏大时, 储层骨架会超出趋势面勾勒的范围, 与沉积相图符合率降低。

2.7 变差函数的分析结果

经过主方向、次方向和垂向 3 个方向的变差函数

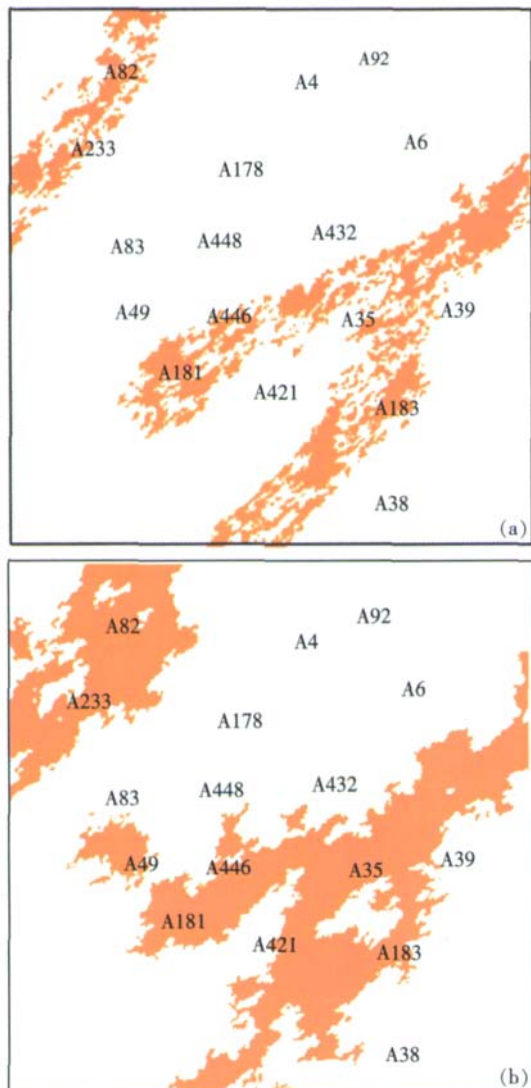


图 6 不同变程模拟的相模型
Fig. 6 Facies modeling simulated according to different ranges
(a) 小变程; (b) 大变程

表 1 B 油田 B3 小层各岩相变差函数参数表
Table 1 The variogram parameters of lithofacies of B3 sublayer in B Oilfield

小层	岩相	变差函数类型	基台值	块金常数	长变程(m)	短变程(m)	垂变程(m)	方位(°)
B3	Compact Sand	球状	1	0.1	310.4	267.7	3.5	35
	Type- II Sand	球状	1	0.1	358.1	273	4.2	45
	Type- I Sand	球状	1	0.1	399.4	203.1	4.7	45

分析,所得的分析结果是主方向的方位(注意次方向应与主方向垂直)、变差函数模型、3个方向的变程、1个统一的基台值(Sill=1)和1个统一的块金常数。

在做 A 区块建模时,确定了各小层每一种岩相及各岩相的变差函数分析数据(表 1)。本次计算变差函数采用的是基于相元的相代码数据,其长变程和短变程所反映的概念与单纯应用砂体厚度进行变差分析得到的长短变程的地质概念是不同的。用本方法得到的长短变程反映出同一种岩相内部的变化,因此,它们小于单纯应用厚度数据变差分析得到的长短变程,这是合理可信的。

如果在进行变差函数分析之前没有进行正态变换,块金常数将会出现大于 1 的值,基台值也不为 1,这当然是不允许的;进行正态变换,基台值将归一化到 1,块金常数相应的处于 0 和 1 之间。

由于块金常数的引入,使得孔、渗、饱的模拟值存在突变,虽然符合实际的地质情况,但会给之后的数值模拟造成一定的困难。

3 结 论

(1) Petrel 已经不是仅仅定位在建模上的勘探开发一体化工具,但建模仍然是它的突出特点。

(2) 在相控建模时,岩相模型可以替代沉积相模型,其纵向分辨率可以直接和 0.125m 采样率的电测曲线进行对比,单砂体的连通性、砂体的尖灭等都得到很好的反映。

(3) 正确求取变差函数是序贯高斯模拟的关键问题,但该算法和参数灵活性太大,人为因素很明显,随机建模思想在 Petrel 的数据变换等环节中得到了充分体现。

参考文献:

[1] 王家华. 油气储层随机模拟[M]. 北京:石油工业出版社,1997.
[2] 陈恭洋. 碎屑岩油气储层随机模拟[M]. 北京:石油工业出版社,1997.
[3] 田小川. 复杂断块精细构造建模技术方法及实践[A]. 见:中国石油勘探与生产分公司编. 精细油藏描述技术交流会论文集(2005年)[C]. 北京:石油工业出版社,2006.
[4] 赵应成,王天琦,田光荣,等. 低渗透油田富集区预测技术研究——以松辽盆地扶杨油层为例[J]. 岩性油气藏,2007.19(1): 21- 26.

(上接第 52 页)

3 结 论

通过本次研究,搞清了长、直、窄的条带型砂体的成因,认为厚层砂体可形成断层-岩性油气藏。过去我们勘探方向注重寻找构造油气藏,限制了勘探视野,将来在本区应该精细研究长条状砂体的展布特征,同时开展断层精细解释工作,研究断层的组合特征、断层的封闭性,寻找断层-岩性油气藏^①。综合分析认为,松辽盆地南部海坨子一大布苏地区青三段厚层砂体是今后提交效益储量,寻找“甜点”的

重点研究目标,具有较好的勘探潜力。

参考文献:

[1] 王永春. 松辽盆地南部岩性油藏的形成和分布[M]. 北京:石油工业出版社,2001.
[2] 刘震,张万选,殷积峰,等. 地震岩性模式识别研究[J]. 地质科学,1993,28(4): 63- 75.
[3] 赵澄林. 油区岩相古地理[M]. 北京:石油大学出版社,2001.
[4] 俞寿朋. 高分辨率地震勘探[M]. 北京:石油工业出版社,2001.
[5] 曹思远,刘宏伟,撒利明. 断点信息的恢复技术研究[J].石油勘探与开发,2002,29(1): 103- 105.
[6] 庞雄奇,陈冬霞,张俊. 隐蔽油气藏的概念与分类及其在实际应用中需要注意的问题[J]. 岩性油气藏,2007,19(1): 1- 8.