

文章编号: 1673-064X(2010)05-0025-03

储层建模中变差函数参数的设置

周游¹, 程时清², 张敏²

(1. 中国石油勘探开发研究院 热采所, 北京 100083 2. 中国石油大学(北京)石油工程教育部重点实验室, 北京 102249)

摘要: 变差函数模型选择以及参数设置是影响储层建模精度的重要因素. 论文主要阐述了拟合实验变差函数过程中合理确定参数的方法, 提出了实验变差函数求取的一般流程. 最后以一个实际油田例子运用文中介绍的方法求取了变差函数. 结果表明, 用该方法容易得到稳健、准确的实验变差函数.

关键词: 储层建模; 变差函数; 搜索半径; 参数设置

中图分类号: TE122 **文献标识码:** A

随机建模不论在理论上还是技术上都取得了长足的发展, 相控约束建模是目前最常用的方法, 在储层建模时如果充分考虑了沉积相或岩相对储层参数分布的控制作用^[1], 可以更好地表征储层的非均质性^[2-3]. 变差函数作为一个表征区域化变量随机性和结构性的有效工具, 在建模中可以帮助人们分析储层特征、获得特征参数^[4-6]. 可以说, 如何合理利用变差函数进行数据分析, 直接关系到后面储层建模结果的可靠性. 然而, 多年来, 人们主要关注的是实验变差函数以后如何进行理论变差函数的拟合、结构套合, 对变差函数的计算方法及过程只是粗略说明, 对变差函数参数设置方面的探讨更少, 这样就会使研究者对基本的变差函数感到十分困惑. 本文将具体介绍目前运用较多的二维情况下实验变差函数的搜索域, 详细讨论相关参数的计算方法, 设计实验变差函数的计算流程, 在文章最后用一个实例说明了如何进行变差函数特征参数的求取, 并对计算方法作了总结.

1 变差函数原理

变差函数是区域化变量空间变异性的一种度量, 反映了空间变异程度随距离变化的特征^[7]. 变

差函数强调三维空间上的数据构形, 从而可定量地描述区域化变量的空间相关性, 即地质规律所造成的储层参数在空间上的相关性. 变差函数是地质统计学中描述区域化变量空间结构性和随机性的基本工具^[8].

设 $Z(x)$ 是一个随机函数, 如果差函数 $Z(x+h) - Z(x)$ 的一阶矩和二阶矩仅依赖于点 $x+h$ 和点 x 之差 h (即 $Z(x)$ 为二阶平稳或满足内蕴假设), 那么定义差函数的方差之半为变差函数, 或称半变差函数:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[(Z(x+h) - Z(x))^2]. \quad (1)$$

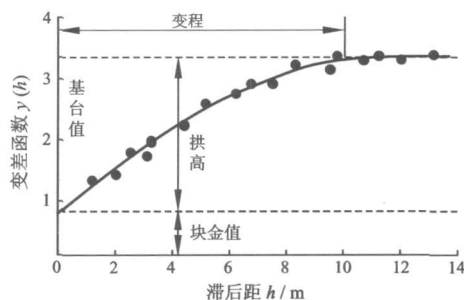


图1 变差函数图

变差函数 $\gamma(h)$ 随滞后距 h 变化的各项特征表达了区域化变量的各种空间变异性, 这些特征包

收稿日期: 2010-01-14

基金项目: 国家 863 基金项目 (编号: 2006AA09Z338) 资助

作者简介: 周游 (1984-), 男, 硕士, 主要从事油气田开发方面的研究. E-mail: zhouy15@qq.com

括影响区域的大小、空间各向异性的程度,以及变量在空间的连续性.这些特征可通过变差图(图1)的各项参数如变程、块金值、基台值来表示.

实际计算中,假设 $N(h)$ 是间距为 h 的所有点对的总数,则变差函数可以通过式(2)计算.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i,j=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_j)]^2. \quad (2)$$

为了获得一个可靠的变差函数,取样点不能太少,由于取样点多为不规则分布,所以取样点之间距离刚好为 h 的点对相对很少.为了增加点对,引入了邻域的概念,则变差函数变为式(3)

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i,j=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_j)]^2. \quad (3)$$

正是由于邻域概念的使用,使得只要求2个样品的距离近似等于原来所定的空间步长,这种改进的意义在于更有效地利用所有有效距离.主流建模软件在做数据分析时,用一种经典方法即截断的楔形来定义样品的邻域(图2).

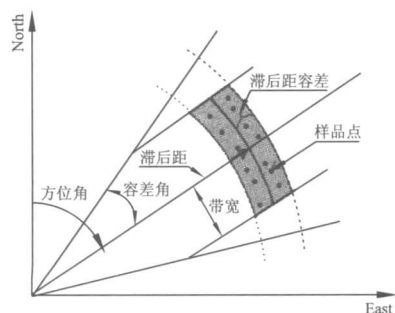


图2 楔形搜索域

变差函数在求取过程中往往要借助方位角、搜索半径、容差角、带宽、滞后距、滞后距容差、厚度以及滞后距个数等参数,变差函数的计算由以上几个参数限制.整个2D变差函数的计算过程如图3所示,当滞后距为 h 时,以任意采样点为原点,1区域内采样点参加变差函数的计算;然后以此类推将原点移动到下一个点直到计算出 $\gamma(h)$. 分别求出滞后距为 $2h, 3h, 4h, \dots, nh$ 时的变差函数值.

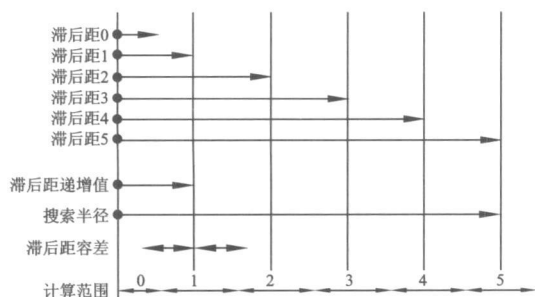


图3 2D变差函数值计算过程

2 参数求取的原则

应用于任何变差函数估计的操作规则是:点对的个数随着滞后距的增加而减少.滞后距达到某一极限后不再有更多的数据,由于估计的精度正比于数据对的个数,所以滞后距越大,估计的可靠性越差.点对数太小的变异函数值不可采用.因此,虽然适当减小步长值一般能提高模型拟合精度,但如果参与计算的数据点对太少,则只能增加最小滞后距值.当变差函数应用于克里金模拟时,越靠近原点的部分对计算结果的影响越大,所以,要得到一个合理变差函数值就需要从一个较小且合理的滞后距开始.

每一个滞后距用于计算变差函数的数值一般应大于30个点对^[5,9].为了精确地估计变差函数,有的学者甚至建议至少应有100到200个样本数据^[6].为了将滞后距控制在有意义的研究范围内,通常将搜索半径限定为 $|h| \leq L/2$ (L 为工区内相距最远的2个数据点).最小滞后距可选为指定方向的平均井距,因为当小于平均井距时得不到足够的点对.滞后距个数与搜索半径及最小滞后距关系为:滞后距个数 = 搜索半径 / 基本滞后距,确定其中2个参数,另一个也就得到了.带宽可选为2倍井距,滞后距容差可选为 $1/2$ 该方向的平均井距.容差角与井网的类型密切相关,一般可选为 $\pi/8$ ^[7],可根据拟合效果作出变化,比如容差角和滞后距可以在上述原则上适当地增减,直到求出具有较小块金值和主次方向变程为止.

块金值表现为在很短的距离内有较大的空间变异性,可以由测量误差引起,或是观测点的距离大于实际变程,也可以来自矿化现象的微观变异性.如研究目标为区域上的物性参数变化情况,那么小的块金常数不能提供精确的信息;若研究目标为区域上的物性参数变化情况,那么小的块金效应常数会告诉我们该物性参数具有很好的连续性.因此在实际建模变差函数取值时,可置块金常数为零^[7],但在变差函数的拟合过程中对块金值求取有助于理解地层砂体的展布特征与非均质性.块金是在距离为零时的模型值,是测量不确定性的标准,若为零值,则数据可以得到很好地忠实,否则网格值将不忠实于井数据.

3 计算实验变差函数的流程设计

根据上面的分析和地质统计学的其他一些基本要求, 设计出了如图 4 所示的计算变差函数简要流程。

为了求取稳健的变差函数, 需要消除可能存在的奇异值、混合分布和漂移带来的影响, 通过正态变换等方法剔除奇异值、限制特高邻差值消除奇异值影响, 利用细分相或截尾处理降低混合分布的影响, 通过计算去除趋势后剩余值变差函数的方法处理漂移作用^[10], 这些操作在“数据预处理”中完成。

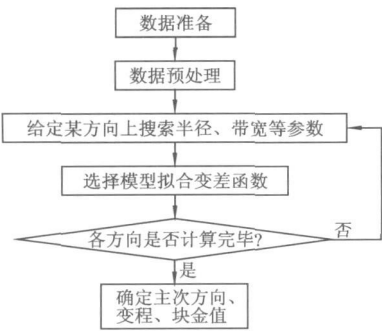


图 4 实验变差函数的计算流程

4 计算方法应用实例

4.1 基本数据准备

该区块属于鼻状构造, 区块面积 31 km², 目前钻井数为 320 口井, 采用反 9 点法布井, 平均井距为 230 m。S⁴ 小层发育着扇三角洲平原亚相, 包括辫状水道、决口扇、水道间及泛滥平原微相。辫状水道是本时期的主要沉积微相, 砂体整体上为东北向西南延伸呈席状, 物源主要来自东北方向。测井解释中泥质体积分数的截止值为 38%, 于是将泥质体积分数 ≥ 38% 定义为泥岩, 小于 38% 的定义为砂岩。如果每口井有不同深度的沉积微相解释资料, 可以用本文所述原则拟合不同微相的变差函数。

4.2 数据分析

工区整体采样井较多且均匀, 相距最远的 2 口井相距 9 km, 平均井距为 230 m。小层网格化过程中因为主力小层细分为 1 m 一层, 首先对工区井数据进行了预处理, 去除了引起变差函数不稳定的异常点。针对以上特点, 结合参数设计的原则设计该井区的参数 (表 1), 来进行变差函数计算。

表 1 参数设计

方向	搜索半径 / km	滞后距 / m	基本滞后距 / m	距离容差 / m	角度容差	带宽 / m	厚度 / m
主方向	4.5	20	230	115	$\pi/8$	460	1
次方向	1.8	8	240	120	$\pi/8$	460	1

4.3 实验变差函数计算与分析

根据表 1 的参数设置数据, 利用指数模型进行了多个方向的实验变差函数拟合, 最后确定了主方向为 56°, 主变程为 922.6 m, 块金值为 0.21; 次变程方向为 326°, 次变程为 794.7 m, 块金值为 0.08 (图 5、图 6)。2 个方向计算结果已较清楚地呈现出砂体分布特点, 该井区主要物源方向为北东方向, 刚好与主方向吻合, 并且在主方向上砂体连续性较好。次方向与主方向垂直, 砂体延伸范围略小, 整体上看 S⁴ 小层砂体呈席状分布且连续性好。

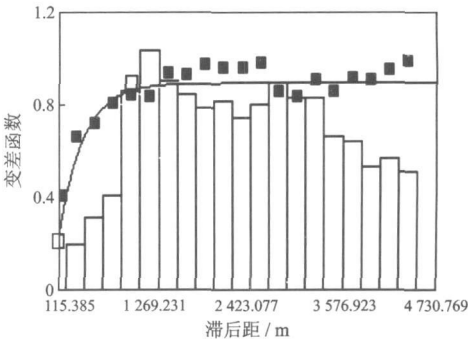


图 5 主变程实验变差函数拟合

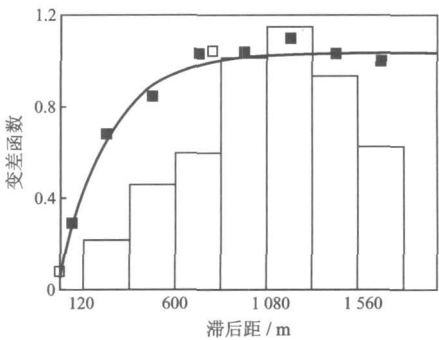


图 6 次变程实验变差函数拟合

块金值表现为较小空间范围内的变异性, 可能是有测量误差或是矿物的微观变异性引起的。本次计算获得的次方向块金值较小而主方向上较大, 在参数模拟时为了使模拟的结果完全忠实于井数据, 可将块金值置零, 这样模拟出网格值会有较好的连续性。

另外需要说明的是, 在对研究对象的地质情况不是很了解的情况下, 需要在多个方 (下转第 32 页)

熟度较高的原油.因此塘参 1 井原油可能来源于下二叠统或石炭系烃源岩.

5 结 论

用聚类方法对三塘湖盆地烃源岩、原油、油砂的 59 个生物标记化合物参数进行了统计分析,其结果表明三塘湖盆地的原油可以分为 3 类,第一类主要包括马朗凹陷的大部分原油和部分侏罗系原油,其源岩为中二叠统芦草沟组湖相泥岩,是盆地的主力油源;第二类原油包括条湖凹陷和部分侏罗系油藏,可能来自于下二叠统或石炭系,第三类原油因遭受了生物降解和高成熟度的影响,相关性不高.另外通过塘参 1 井原油密度、碳同位素、生物标志化合物等的对比,认为其原油可能是来自于下二叠统或石炭系烃源岩.

参 考 文 献:

- [1] 张枝焕,关强.新疆三塘湖盆地侏罗系油源分析[J].石油大学学报:自然科学版,1998 22(5): 37-41.
- [2] 包建平,马安来,黄光辉,等.三塘湖盆地原油地球化学特征及其成因类型[J].油勘探与开发,1999 26(4): 25-29.
- [3] 王志勇,卫延召,赵长毅.三塘湖盆地低熟油的发现及其地球化学特征[J].沉积学报,2001 19(4): 598-604.
- [4] 朱翠山,郭稚弧,包建平.三塘湖盆地煤成油地球化学特征[J].江汉石油学院学报,2001 23(1): 9-13.
- [5] 高岗,梁浩,杨淑亚,等.三塘湖盆地原油物性特征及其影响因素[J].西南石油大学学报,2001 29(3): 43-45.
- [6] 彼得斯 K E,莫尔多万 J M.生物标记化合物——古代沉积物和石油中分子化石的解释[M].姜乃煌,张水昌,林永汉,等.译.北京:石油工业出版社,1995.
- [7] 冯乔,柳益群,郝建荣.三塘湖盆地芦草沟组烃源岩及其古环境[J].沉积学报,2004 22(3): 513-517.
- [8] 傅家谟,刘德汉,盛国英.煤成油地球化学[M].北京:科学出版社,1992.
- [9] 程克明,王铁冠,钟宁宁.烃源岩地球化学[M].北京:科学出版社,1995.
- [10] 杜宏宇,王铁冠,胡剑梨,等.三塘湖盆地上二叠统烃源岩中的 25 降藿烷系列与微生物改造作用[J].石油勘探与开发,2004 31(1): 42-44.
- [11] 张廷山,任明忠,蓝光志,等.微生物降解作用对稠油理化性质的影响[J].西南石油学院学报,2003 25(5): 1-4.

责任编辑:王 辉

(上接第 27 页)

向上进行测试,以掌握不同方向的变程值.虽然这个过程比较费时,但对后面参数模拟至关重要.当研究区域井较少或井分区不规则的时候,参与实验变差函数计算的点对数目会很少,因此,必须通过地质类比分析,即通过对原型模型的解剖,把握目标区储层(性质)参数的地质统计特征^[4].

5 总 结

本文对实验变差函数的计算方法进行了系统、深入的论述和研究,同时设计出较合理的实验变差函数拟合流程,最后以一井区测井解释结果为例,对文中所述方法进行了实验.测试结果表明,利用本文介绍的方法,可以得到稳健、准确的实验变差函数,同时可以预测出砂体的规模.并认为在实际操纵中,如果块金值较小,为了得到较连续的网格值在参数模拟时建议将块金值置为零.

参 考 文 献:

- [1] 郑丽辉,邢玉忠,赵秋忙.相控随机建模在油藏精细描述中的应用研究[J].西南石油学院学报,2005 29(6): 21-23.
- [2] 张团峰,王家华.试论克里金估计与随机模拟的本质区别[J].西安石油学院学报:自然科学版,1997 12(2): 52-55.
- [3] 张团峰,王家华.利用储层随机模拟提高油藏数值模拟的效果[J].西安石油学院学报:自然科学版,1996 11(3): 52-54.
- [4] 吴胜和,金振奎,黄沧钊,等.储层建模[M].北京:石油工业出版社,1999.
- [5] Jeffrey M Yarus, Richard L chambers.随机建模和地质统计学——原理方法和实例研究[M].北京:石油工业出版社,2000 26.
- [6] 王仁锋,胡光道.线性地质统计学[M].北京:地质出版社,1998.
- [7] 王家华,张团峰.油气储层随机建模[M].北京:石油工业出版社,2001 37.
- [8] 冯国庆,周涌沂,李允,等.利用遗传算法拟合实验变差函数[J].西南石油学院学报,2005 5: 23-25.
- [9] Deutsch C V, Journel G A. GSLIB[M]. New York: Oxford University Press, 1992.
- [10] 杨勇,吴蕾,别爱芳,等.储层建模稳健变差函数的求取[J].海洋石油,2006 26(1): 17-19.

责任编辑:王 辉

Northwest University Xi'an 710069 Shaanxi China 2 College of Petroleum Resources Xi'an Shiyou University Xi'an 710065 Shaanxi China) JXSY 2010 V. 25 N. 5 P. 10-15

Heterogeneity of Chang 8 reservoir in Yingwang Oilfield Ordos Basin

Abstract The heterogeneity of Chang 8 reservoir of Yanchang Formation in Yingwang Oilfield is studied by core analysis mercury penetration experiment and other methods. It is held that there is stronger innerbed, interbed, plane and microscopic heterogeneity in the reservoir and it is controlled mainly by sedimentary facies zone. The innerbed heterogeneity is affected mainly by sedimentary rhythm and interlayers. The interbed heterogeneity is affected by the distribution of interlayers and the variation of reservoir property. The plane heterogeneity is closely related with the morphology and contact relation of sand-bodies. Understanding the varying law of the reservoir heterogeneity can provide guidance for oilfield development, particularly for the potential tapping of remaining oil.

Key words heterogeneity; Chang 8 reservoir; Yingwang Oilfield; Ordos Basin

WANG Gui-cheng, WANG Yu-jin (College of Petroleum Resources, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, Shaanxi, China) JXSY 2010 V. 25 N. 5 P. 16-19 24

Geochemical characteristics and genesis of the natural gas in Fu County area Ordos Basin

Abstract There is abundant Palaeozoic natural gas resource in Ordos Basin. The recent exploration and research are mainly focused in the middle and the north of the basin, but hardly in the south of it. The chemical composition, the carbon isotope of alkane gas, the isotope of helium and the isotope of argon in Ordovician natural gas in the area of Fu County in southern Ordos Basin are compared with those in the natural gas in the main gas fields in the middle of the basin based on the study on the geochemical characteristics of the Ordovician natural gas, and the genetic types of the natural gas are comprehensively analyzed based on the regional geology background. It is held that the Ordovician natural gas is of the features of high drying coefficient, high carbon dioxide content, light carbon isotope of alkane gas and high thermal evolution degree, these features are approach to those of the Ordovician natural gas from Jingbian Gasfield. The vitrinite reflectance of the Ordovician natural gas in the area of Fu County is calculated by using the relation equation between methane carbon isotope and vitrinite reflectance established by domestic scholars, and it is about 3.33%. This shows that the natural gas is in overmature evolution stage. According to the identifying chart of natural gas genesis, the Ordovician natural gas in the area of Fu County belongs to the mixture of oil formed gas and coal formed gas, and oil formed gas is main component in the Ordovician gas.

Key words natural gas; geochemical characteristic; genesis; Fu County; Ordos Basin

NI Chun-hua¹, ZHOU Xiao-jin¹, WANG Guo-shou¹, WANG Yong-cheng² (1. Wuxi Institute of Petroleum Geology Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Sinopec, Wuxi 214151, Jiangsu, China; 2. Oil and Gas Exploration Company, Yanchang Petroleum Group Limited Company, Yan'an 716000, Shaanxi, China) JXSY 2010 V. 25 N. 5 P. 20-24

Setting of variogram parameters in reservoir modeling

Abstract The selection and parameter setting of variogram model is the important factor of affecting the accuracy of reservoir modeling. Variogram reflects the spatial variability from different perspectives through itself structure and parameters. It is described how to determine a reasonable method for setting parameters in the process of fitting experiment variogram, and the general flow of determining experimental variogram is presented. At last, the determining variogram method is verified by a practical example of oilfield. The testing result shows that using the method can easily obtain a sound and accurate experiment variogram.

Key words reservoir modeling; variogram; searching radius; setting of parameter

ZHOU Yu¹, CHENG Shi-qing¹, ZHANG Min¹ (1. Thermal Recovery Institute, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of Education Ministry for Petroleum Engineering, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China) JXSY 2010 V. 25 N. 5 P. 25-27 32

Application of clustering analysis to oil and source rock correlation

Abstract The crude oils in Santanghu Basin can be divided into 3 types based on the clustering analysis of the biomarkers of