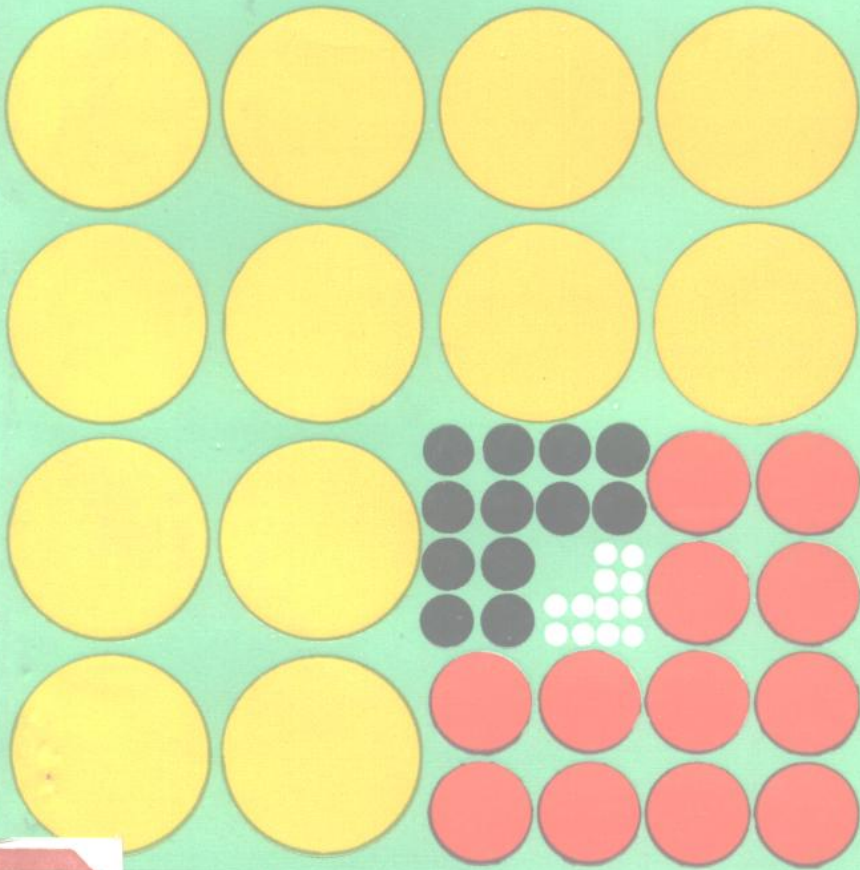


地质统计学 在油藏描述中的应用

张一伟
熊琦华
纪发华
等编译



石油大学出版社

学(北京)

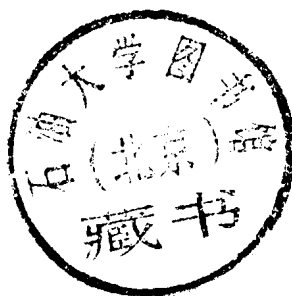
321

21

123836
TE321
001

地质统计学在油藏描述中的应用

张一伟 熊琦华 纪发华 等编译



石油0117444

石油大学出版社

鲁新登字 10 号

内 容 提 要

本书为一论文集, 编者以地质统计学和随机建模技术在油藏描述中的应用的国外最新研究成果为主线, 选编其适用、可行的论文 18 篇, 编译成集。论文涉及了在随机建模中参数的估计、各种资料的综合应用、不确定性的描述、储层的非均质性研究等。以新方法、新思维研究油藏描述、油藏数值模拟及油藏动态模型, 对于地质科研人员定有所启迪。现场地质工作人员也不可不调。

读者对象: 地质工作者及有关科技工作者、测井及油藏开发工作者。也可作为有关大专院校师生的参考书。

2000/23
21

地质统计学在油藏描述中的应用

张一伟 熊琦华 纪发华 等编译

*

石油大学出版社出版

(山东省东营市)

新华书店发行

山东省东营新华印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 16.125 印张 413 千字

1992 年 2 月第 1 版 1992 年 2 月第 1 次印刷

印数 1—1500 册

ISBN 7-5636-0118-X/TE·23

定价: (精)26.00 元 (平)20.00 元

编译者的话

地质统计学理论自二十世纪六十年代由克里格和马特隆等提出之后,经过几十年的发展与完善,目前已形成了一套完整的理论体系,并广泛应用于油藏描述研究领域。

油藏描述的直接目的在于准确地提供油藏数值模型,为油田开发和储量计算提供理论依据。由于地质变量在空间上具有随机性和结构化的特点,为了准确求取油藏各项特征参数,提供数值模型,这样区域化变量理论和随机模拟理论应用和发展为油藏描述提供了一套崭新的工具,地质统计学在油藏描述中的应用可归纳为以下几个方面:

(1) 参数估计 地质统计学的基本原理就是应用线性加权的方法对地质变量进行局部的最优化估计;

(2) 储层非均质性研究 随着油田开发进入高含水期,层间矛盾和层内矛盾日益突出,如何更好地描述储层层间及层内的非均质性是储层描述的关键。地质统计学的各种随机建模技术就是针对非均质性研究提出来的。

(3) 各种资料的综合应用 油藏描述的资料繁杂,如何系统地应用好各种资料是至关重要的。地质统计学为此提供了许多方法。如指示克里格技术,它可以将定性的信息(如专家信息)进行系统地编码,将定性的概念定量化,增强了综合使用各种资料的能力。

(4) 不确定性描述 过去人们所选的模型,不管是静态的还是动态的,基本上都是单一的确定性模型,但实际地质情况是极为复杂多变的,确定性模型难准确地反映地下油藏的真实变化,只有通过不确定描述,从地质统计学观点概括和综合地质模型,才能真实地反映复杂的油

藏模式。

随着中国东部各油田进入中后期开发阶段,油藏精细描述、油藏数值模拟、及油藏动态模型就成为研究的重点内容。迫切需要用新技术、新方法、新思维进行深入的探索。为了更加有效地开展油藏描述研究,拓宽从事该项研究的科技人员的视野,及时掌握国外研究的最新动态,石油大学(北京)地球科学系油藏描述科研组查阅了大量英文文献,从中选译了 18 篇文章,集中介绍国外最新研究成果,编辑成册,以飨读者。由于时间仓促,加之水平有限,文中若有不妥之处,敬请批评指正。

编译者

目 录

地质统计学在油藏描述中的应用.....	1
利用地质统计学和多元数据分析技术提高储层描述水平.....	8
地质统计学与分形几何学在油藏描述中的应用	27
综合软的地震资料:马尔科夫-贝也斯更新, 一种协同克里格与传统回归方法的变通	41
在储层建模中综合应用地震资料——同位克里格法	68
油藏描述中专家信息的编码与外推	84
定量碎屑岩储层地质建模:问题与展望.....	94
油藏绘图新方法.....	117
储集岩空间相关特性的随机建模.....	127
随机集合的条件模拟在泥质砂岩储层中的应用.....	142
河成三角洲储层几何形状的条件模拟.....	152
随机建模.....	162
为油藏数值模拟提供精细油藏描述的一种三维建模方法.....	175
复杂浊积岩储集层的非均质性:沉积相和岩石物性变化的随机建模	184
计算机辅助的油藏描述综合模型——从露头研究到流体流动模拟	200
模拟地质非均质性及其对流动模拟的影响.....	207
油藏动态评价中不确定性的预测	220
岩心切片照片的分形特征.....	236

地质统计学在油藏描述中的作用

A. G. Journel 著

纪发华 译 熊琦华 校

摘 要

由于地质统计学,更具体地说储层非均质性随机建模不仅能够建立更精确的储层模型,而且能衡量空间不确定性,所以倍受储层分析和工程技术人员的青睐。地质统计学能够为信息综合分析提供概率的框架和工具。对关键参数空间分布的不确定性进行模拟,并把这种不确定性直接用于有风险的油藏管理。随机建模方法可以产生多个等概率、不光滑的模型,而且都可以忠实于现有的数据。

引 言

储层的数据模型,常常不能反映对油藏动态至关重要的非均质性^[1-4]。由于产量始终是井的参数,所以在储层中,现有的数据大多集中于生产区域,而且极为稀少。工业界常用的插值和网格化方法更加剧了这一问题,原因是这些方法是一种低通滤波器,都常常于把仅有的稀少的数据所提示的微小的空间变化滤掉。岩心塞和测井资料并不是唯一的信息来源,但其它信息,如地球物理信息,由于可靠程度不一^[4,5],而且代表了不同体积的岩石,所以很难综合。生产史信息和试井测得的信息比较也不能保证油藏将来动态预测的可靠性。所有这些问题并不是新东西,但随着石油工业把重点转向提高已知油田的采收率上,这些问题变得越来越重要。由于EOR过程的动态预测需要更好的储集岩和流体特性数据模型。地质统计学重新受到了注意。

直到最近,地质统计学常被认为只与它的某些重要贡献有关,而且把它当做克里格的同义语,一直认为它是一种网格化的多元回归技术^[6-8]。由于把地质统计学简化为一个包装好的网格化软件^[9],早期的用户不能认识到它作为空间数据分析工具和地质家^[10]、地球物理学家^[11]和油藏工程师们^[2,3]共享的概率语言的可能性。也没有意识到它能作为综合各种不确定信息源工具的潜力^[12]。由于过量销售包装好的软件,而不考虑预先的教育,所以人们对地质统计学产生了过高的期望以及后来的失望。然而,近期的经验对地质统计学提出了更合理的期望,也拓宽了地质统计学的应用范围。

空间数据分析

地质统计学开始强调描述和模拟储层参数空间变化和有关参数之间的关系,如孔隙度和地震速度。这些模型可用以建立各种目的的数据模型,对那些至关重要为平均值的参数插值,

对那些极值为至关重要的奇异参数进行随机模拟。

无论谁要把一储层信息转换成另一储层信息、或同一储层内不同单元之间的转化、或学科之间的信息转换,都需要定量的工具。具空间变化性和依赖性的地质统计学模型是对地质变量的定量总结,因此可以把它当作工具使用。地质统计学模型可以使来自不同盆地、不同地层和不同层位的数据之间的比较更加容易,因此对任何试图建立某一分类系统来说是有帮助的。它们也能使地质学家们把他们有价值的信息转换成一种能被石油工程师所应用的数据格式。

地质家们解释的最大连续方向可以通过用方向性的相关图和相关变程图予以说明,参看图 1。当某一具体储层缺乏足够的资料时,可从其它具有相同沉积环境的高成熟的油田^[13]数

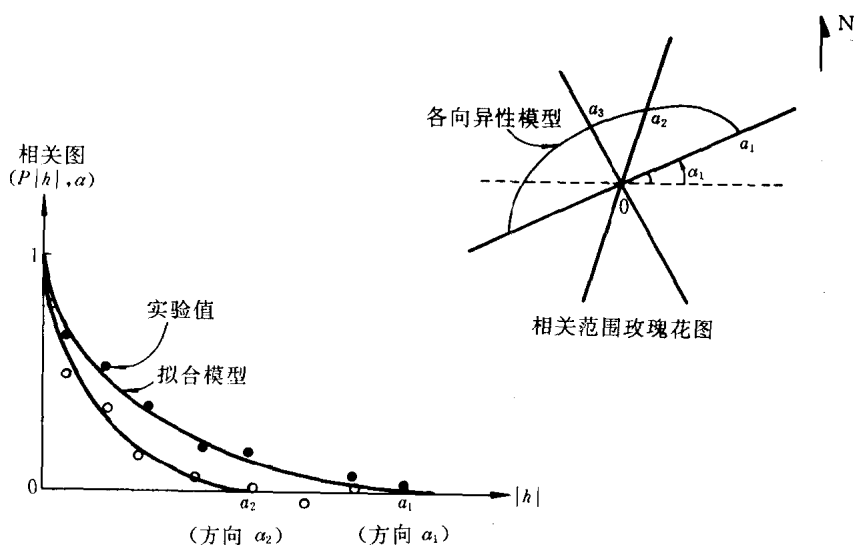


图 1 典型的空间相关分析

变量是孔隙度,它是从声波测井中求得的(经过刻度)。方向性相关函数 $\rho(|h|, \alpha)$ 是 $|h|$ 对所有孔隙度 $\varphi(x), \varphi(x+h)$ 对相距同样距离在大致同一个方向 α 之间的线性相关系数的作图,相关图 $\rho(|h|, \alpha)$ 测量的是随两样品分离距离的增加相关性丢失。相关性消失的距离叫变程 a_α 。在极点图上这些变程 a_α 与 α_1 的交会图给出了非均质性的度量,大的变程对应于最大的空间连续性(相关性)。

据、露头研究^[14]或地质剖面和平面对件中借用相关函数和统计特征。通过抓住定量形式的关键——非均质性,方向性相关函数可使这一重要信息得到利用,但以往这一信息只是一个定性表达,因此常常被忽略。

地质统计学家常用变异函数来描述空间连续性。而相关函数图,如图 1,则表明随着样品分离距离的增加,相关性变差,而变异函数^[6]随着距离的增加,相似性变差。

尽管变异函数和相关函数通常被用来研究某一变量的连续性,但同一方法可用来研究不同分布区的不同变量的交互连续性。例如,人们若能把某一具体位置的孔隙度值与这一位置处周围的旅行时间比较。一旦模拟了这种空间的交互相关性,那么用于多变量回归,即协同克里格^[11],不仅可以从已知的孔隙度和数据绘制孔隙度图,而且可以从更丰富的地震信息中绘制孔隙度分布图。

数值的非线性变换在空间数据分析中很有用。极不对称的数据的空间连续性,如渗透率

值,常常通过取对数后进行分析更为人所理解。另一种是非线性二进位的指示变换,即如果该样品值大于某个给定的门槛值,则定义为1,其它为0。这种指示变换的变异函数给出了那些造成流动通道的高渗值和作为流动屏障的低渗值的空间连续性的度量^[15]。

除了变异函数和相关函数外,地质统计学家的工具箱内装有各种图件来检测、证实和模拟参数空间变化性和相互独立性的模式。

一般的回归(克里格-协同克里格^[6-8,11])

任何未采样值,如孔隙度,一旦待估的未知值和已知的现有样品值之间的统计关系确定下来,都可以用周围同样值来估计。这也证实相关函数所提供的一种先验数值之间的统计相似性模型。正如前面所指出的,这种一般回归形式可包括邻近的一些不同变量值。例如地震旅行时间,或沉积相代码。当使用这种次要信息时,也需要交叉-相关函数的先验模型,它能给出不同位置处的不同变量之间的统计相似性。这些一般化的回归方法归纳起来被称为“克里格”和“协同克里格”。它们在把传统回归方法以两种意义推广使用于测井中,就是:①所用的数据(用传统的统计学术语则为“独立变量”)不必相互独立。这就考虑了冗余,即当同时使用几个相关的测井时,出现的一种重要因素。②用于回归分析之前,先模拟样品的相关性,这可使样品某些方面的相关性得到过滤。例如,白噪和更一般的数据高频成分可以被滤掉,剩下的是一幅只反应数据的宏观趋势的插值图^[16]。相反,某一特殊的从间接的信息推知的趋势可以尽可能地忠实现有数据的方式置于图件编制之中^[17]。

不同类型数据的综合

多变量回归,统计学家称之为“协同克里格”,综合很多不同种类的数据,如定性的地质信息,通常不是一个很方便的方法。这些信息通常在自然界中只是指示性或直接由实验室测定而得。

在某一个还没有测量孔隙度值的深度处,考虑岩性信息可以提供孔隙度落入的合理的区间范围^[18]。例如,如果我们确定是某一种特殊类型的砂岩,则我们可以知道其孔隙度为从10%到30%之间的某个数。另外,如果我们也有足够的岩心样品测值落在这一类型的砂岩中来编绘直方图,我们可精确说明先前的限制区域。我们可以利用直方图给出概率分布,这种概率分布也许能告诉我们未知的孔隙度落在10%到30%的范围之内的低值端的可能性要比高值端大。

地质统计学中的指示方法和软克里格方法允许用邻近的或者“软的”或者“硬的”数据来更新这种先验分布。为了继续我们以前的例子,我们可以局部修改以前从岩相求得的概率分布,它涉及到了更具体的局部信息。这可以是软信息,如所求的位值是在向上变细层序的上半部分,或硬信息,如距离只有50ft远的井的全部岩心孔隙度分析值为15.6%。

这一更新的结果是后验概率的分布,它给出了未采样的参数值落入任何给定范围内的概率分布,如孔隙度从10~15%。一旦给定了最优条件标准,从这一分布可以给出任何未采样值的估计^[7,19]。大多数地质统计学家倾向的标准是最小平方差。为了定义这种最佳性,后验概率分布的平均值则给出了最佳估计值。人们可以选择使用绝对误差,而不是平方根误差,作为度量好坏的控制。对于这种最佳控制标准,后验概率分布的中值证明是最好的估计。

也可以分析有意的应用任何估计,提出具体的描述与任何某一误差水平有关的惩罚的“丢失函数”^[19,20],而不是选择某些方便的,但是人为确定的最佳的定义。由于低估某一值与过高估计该值影响不一样,所以这种丢失函数可能很少是不对称的。这种投影式的具体的丢失函数也可以最小化,最佳的估计的目的在于减少最小化误差对某一具体投影的影响。

指示地质统计学可把所有辅助信息编码成一系列指示数据(二进制值)。硬数据产生的编码由0和1组成^[7,18],而软信息形成的编码是由0到1之间的值组成。这些指示数据然后被解释成任何未知变量取某一个具体值的先验概率。无论它们来源于测井资料还是地震资料或者地质解释,所有指示数据都集中在一起,然后计算它们的实验指示函数来揭示这些指示数据的空间连续性。一旦掌握了空间连续性模式,则可模拟这种模式,并把它用于多项回归来产生采样值的后验概率分布。

通常,不同的数据是分开处理的,从而得出不同的模型——地质模型、地球物理模型、生产模型……,这些模型是很难综合在一起的(如果可能的话)。指示地质统计学通过不同的途径对这些信息采用统一的编码,处理出的模型与这些信息一致。

储层非均质性随机建模

现代地质统计学的目的,不是最小二乘法的空间回归,而是建立描述现在状态下的储集岩和流动特性研究中的不确定性的概率分布,应通过各个信息与所研究变量之间的关系模型来考虑所有有关的信息。信息收集的越多,对未知变量的不确定性越小,后验概率的分布范围就越小。“未知”可以指的是在某一位置某一具体的未采样值,如孔隙度值,或着是在很多位置处某一变量的未采样的参数值(例如规则的网格节点),甚至可以是多处的未采样所有相关变量,孔隙度、渗透率、饱和度、压力,……等等。对于某处的单变量,则有一个变量问题;对 N 处的单变量则问题变为 N -变量问题;对于 N 处的 K 个相互依赖变量,那么问题就变成 $(K \cdot N)$ 变量问题。

就象人们能从单变量概率分布上取一系列实现值一样^[21],也可以从一个多变量概率分布上取一系列实现值^[4,7,13]。假设一个 $K \cdot N$ 变量概率分布,它表示在 N 处的 K 种岩石和性质的不确定性,从这种多变量分布上取某一值,那么就代表了储层的随机模型。如果 N 非常大,即在三维网格上有几百万个节点,每一个实现则给出了储集岩和流体性质的高精度模型。这种随机的模型体现了所有变量信息,在所有位置硬的和软的以及所有的通过相关函数和交互相关函数输入的结构信息,尽管这些模型之间互不相同(参看图2)。

这些随机模型之间的差别直接给出了对储集岩和流体特性不确定性的显示。所有输出都相同的地方,则没有不确定性;差别大的地方,则不确定性越大。例如,一条高渗带在所有模型中出现90%,可以认为是可靠的,如果只有50%模型出现,则不大可能存在。如果不确定带碰巧在对影响储层动态较大的地区,那么就需要用另外的资料与现有的资料综合来确定此带。例如,随机建模可以揭示许多有关某一具体EOR注/采井模式是否在产层顶部附近包含高渗带的不确定性。如果EOR过程的本质使重力超过上述的考虑,那么随机建模将证实需要有关的该模式上部精确信息。

随机图象代表了多个等概率储集岩和流体性质的数字模型,因此可以用于流动模型输入来进行敏感性分析^[21,22]。由于复杂的流动模拟程序的运行非常昂贵,常常有必要考虑有限数目的不确定性,描述具有代表性储层模型:一些不适合的模型,一些中间类型模型及一些有利

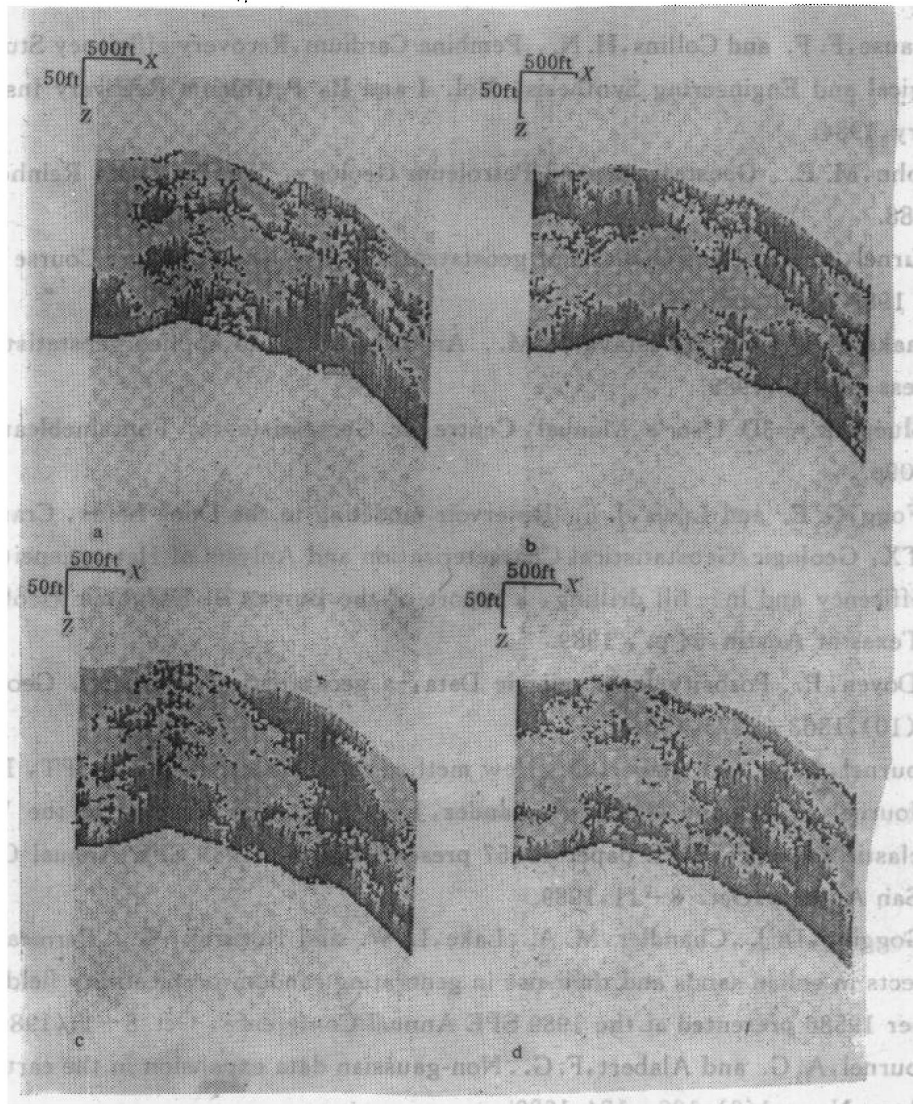


图2 砂-泥层序的垂直剖面的4个等概率模型(垂向放大为10:1)

模型。这种选择可通过运行快速模拟程序来完成,这种程序快速而且有效,而且还能够抓住所考虑的流动问题的有关特征。简单粒子示踪算法,在识别主要流动通道中非常有用^[23],因此允许有经验的工程师很快的评价某一具体的储层模型将是产生有利还是无利结果。

参考文献

- [1] Weber, K. J.. How heterogeneity affects oil recovery, in Reservoir Characterization 1986, Lake and Carroll ed., Academic Press, 487 — 584.
- [2] Hewett, T. A.. Fractal distributions of reservoir heterogeneity and their influence on fluid transport, SPE paper 15386 presented at the 1986 SPE Annual Conference, New Orleans Oct. 5—8, 1986.
- [3] Tang, R. W., Behrens, R. A. and Emanuel, A. S.. Reservoir studies using geostatistics to forecast performance, SPE paper 18432 presented at the 1989 SPE Symposium on Reservoir Simulation, Houston Feb, 6—8, 1989.
- [4] Haldorsen, H. H and Damsleth, E.. Stochastic modeling, JPT Apr. 1990.

- [5] Krause, F. F. and Collins, H. N. . Pembina Cardium, Recovery efficiency Study; a Geological and Engineering Synthesis, Vol. I and II, Petroleum Recovery Institute, Calgary, 1984.
- [6] Hohn, M. E. . Geostatistics and Petroleum Geology, Van Nostrand Reinhold, 264p. , 1988.
- [7] Journel, A. G. . Fundamentals of geostatistics in five lessons, Short Course in Geology 8, 1989 , Aug publ. 40 p. .
- [8] Isaaks, E. H. and Srivastava, R. M. . An introduction to applied geostatistics, Oxford press, 561 p. , 1989.
- [9] Bluepack — 3D User's Manual, Centre de Geostatistique, Fontainebleau, France, 209p. .
- [10] Fogg, G. E. and Lucia, J. F. . Reservoir modeling in the Dune fields, Crane County, TX; Geologic/Geostatistical Characterization and Anlysis of Heterogeneity, recovery efficiency and in — fill drilling, a report of the Bureau of Economic Geology, U. of Texas at Austin, 64 p. , 1989.
- [11] Doyen, P. . Porosity from seismic Data; a geostatistical approach, Geophysics, 53 (10), 1363—1275, 1988.
- [12] Journel, A. G. and Alabert, F. . New method for reservoir mapping, JPT, Feb. 1990.
- [13] Journel, A. G. and Gomez-Hernandez, J. J. . Stochastic imaging of the Wilmington elastic sequence, SPE paper 19857 presented at the 1989 SPE Annual Conference, San Antonio, Oct. 8—11, 1989.
- [14] Gogging, D. J. , Chandler, M. A. , Lake, L. W. and Kocurek, G. . Permeability transects in eolian sands and their use in generating random-permeability fields, SPE paper 19586 presented at the 1989 SPE Annual Conference, Oct. 8—11, 1989.
- [15] Journel, A. G. and Alabert, F. G. . Non-gaussian data expansion in the earth sciences, Terra Nova, 1(2), 123—134, 1989.
- [16] Sandjivy, L. The factorial kriging analysis of regionalized data : Its Application to Geochemical prospecting, in Geostatistics for Natural Resources Characterization, Part 1, 571—579, 1984, Verly et al. ed. , Reidel publ. .
- [17] Henning, O. and Halvorsen, K. B. . The Bayesian bridge between simple and universal Kriging, Math Geology, 21(7), 767—786, 1989.
- [18] Kostov, C. and Journel, A. G. . Coding and extrapolating expert information for reservoir description, in Reservoir Characterization, 1986, Lake and Carroll ed. , Academic Press, 249—264.
- [19] Berger, J. O. . Statistical decision theory and Bayesian analysis. 1980, Springer Verlag, 617 p. .
- [20] Srivastava, R. M. . Minimum variance or maximum profitability, CIM Bulletin May 1987, 80(1901), 63—68.
- [21] Genrich, J. F. and Sommer, F. S. . Novel approach to sensitivity analysis, JPT, Sept. 1989, 930—932 and 983—985.

- [22] Matthews, J. L., Emanuel, A. S. and Edwards, K. A.. Fractal methods improve miscible predictions, JPT, Nov. 1989, 1136—1142.
- [23] Giordano, R. , Salter, S. and Mohanty, K.. The effects of permeability variances on flow in porous media, SPE paper 14365, 1985.

利用地质统计学和多元数据分析技术 提高油藏描述水平

Henrique 等著

张一伟 方朝亮 译
熊琦华 校

摘 要

为提高已知油田油藏描述水平,提出了一种将地质统计学、多元数据分析和适当地质推理有机结合起来的研究方法,这种方法大致分为以下几个步骤:

① 将现有的变量分为两个小组,它们分别代表不同内涵,即主变量和辅变量,前者反映了含油量的分布,后者再现了储层的地质及岩石物性特征。

② 对定量性变量用随机的分类界线重新编码成类型形式,应用对应分析对此进行分析。

③ 通过观察辅助变量在因子平面上的投影和井位图上井组间的关系分析选择最后的分界线,根据对应分析在主因子 1 上的投影得出的指数按照递减的顺序排列。

④ 建立储层质量带(RQZ),这种带是由空间上相关的一组井组组成。给定带的含油指数要大于某个界线,这一界线与流体饱和度和静油柱的空间分布和该带的岩石物性特征有关。

⑤ 每一个有利储集相带边界都可通过指示数据的过渡克里格技术确定。

⑥ 结合几何形态估计与泛克里格方法对每个带的原油量进行计算。

第 1 至第 4 步是交互的,并用实例作了说明,以用所提出的方法提高油藏描述水平为重点对水平分带性的结果在生产部署中的影响作了讨论。

引 言

为开發布署,储层建模过程中关键一步就是了解它的内部结构。对这种特征的过分简单化,肯定要大大地浪费以历史对比方法为基础的黑匣子式模拟程序的机时,程序中所用的储层特征参数先用平均值进行初始化,然后用盲目反复调整的方法对其进行修正。

综合应用多元统计技术、地质统计学和适当的地质推理,改善油藏描述水平,才能改善整个建模过程和油田开发决策。

油藏描述涉及到各种地质、石油物探以及开发生产数据的客观评价,其目的是确定有意义的储层高压区,给井间区域赋以定量地质参数以及为油藏数值模拟提供合适尺度的参数。

大多数储集层都具强烈非均质性。它与影响孔隙度、渗透率、毛细管压力等储层特性的孔隙空间排列的多样性有关,这里所提出解决的方法是把油藏分成各种层带,即用储层质量带(Reservoir Quality Zone)表示。

一旦建立储层格架[包括整个沉积体系,储层(垂直分带)的层数和分布,不同岩性、岩相的识别],就可能进行油藏描述的下一步:储层质量带分层。该步的目标是确定各层岩石特性和流

体饱和度的横向变化及其面上的扩展。

这种进一步划分方法,多元统计技术很容易实现,但划分必须能充分反映对各种地质、地球物理资料相关性的了解。

显然将统计单元细分的划分方法不是唯一的,取决于所选择的参数和分析方法的前提及其合理性。用多元统计学方法获得的成果必须要通过地质和生产人员检验。这种检验任务大部分是根据前一步获取的组的图形并且必须在生产布署目的的制约下交互进行。特别是把从数据分析预测而得的 RQZ 与相的分布进行对比似乎是该项任务的突出的特征。目的是对诸如储层连通性、采油系数和流体运移通道这样一类问题有新的认识。

结合专家评审和多元统计技术的结果,一旦确定哪些样品属于每个“最终”组,那么必须估算出带与带之间的边界,目的是圈定 RQZ 的几何形态。本文是用地质统计学技术“指示数据的过渡克里格”方法解决这一问题的,它用过渡变异函数来考虑 RQZ 的几何结构。

在每一个 RQZ 带内,采用静油柱(厚度 $\times$ 孔隙度 $\times$ 含油饱和度)这一变量,应用泛克里格法计算地层条件下原油的体积。

实际上,对同样的数据,前人研究(Pereira 等 1989 年)已得出,只要做了可靠的构造分析,泛克里格方法比其它技术(K 次内蕴随机函数,趋势分析,漂移的中值光滑等)得出的结果要好。

在设计二、三次采油方案前,应用上述方法,把储层质量分析用在预测有利储集层的连续性上,是提高油藏描述的有利工具。对已探明的油田作了实例研究,有关分析的实际结果对开发部署和残余油开采方面的影响在下文要提到,这是由 EEC 的石油分部赞助的研究项目(油藏数学地质模型的研究)的初步研究结果。

现有数据

中东油田产层为早白垩系多孔灰岩,现有大量资料如地质、地球物理资料和生产数据,所以选定该油田验证前面所述的方法。

油藏形态是一个穹隆背斜,纵向上主要发育四个缝合面,它是通过岩心描述,中子和感应测井而确定的。

在该实例中所选层位是主力含油层系,平均厚 30.4ft,以往多用实验和压力资料确定原始油水界面,该油藏的原始油水界面埋深 7950ft。

地质人员根据岩性(如灰岩,粘土岩,白云岩)、化石含量及测井分析划分了沉积相,储层中相的变化是由开阔大陆架引起的,与沉积旋回受海平面升降变化影响有关。

在每一目的层中,从顶至底可分为四种不同沉积相。

F₁ 相:厚壳蛤石灰岩相,由多孔厚壳蛤碎片泥粒灰岩和泥粒灰岩组成,与缝合面带紧密胶结。

F₂ 相:小栗虫球粒相,由细粒、分选好粒状灰岩和成层性很好的泥灰岩组成。

F₃ 相:厚壳蛤石灰岩相,与 F₁ 相相似,但胶结疏松。

F₄ 相:小栗虫藻团块相,由粗、细粒沉积物互层组成,顶部以粒状灰岩为主。

除沉积相和岩性外,对目的层,每口井有关层都有高程、厚度、孔渗饱数据。至开发的最后阶段,该油田共有 181 口井,包括生产井、注水井,其中有 172 口井资料在这一实例中得到应用。井位图见图 1。油藏流体数据用一组 PVT 资料表示,油层在原始地层条件下体积系数

(B_c)为 1.60 RB/STB。

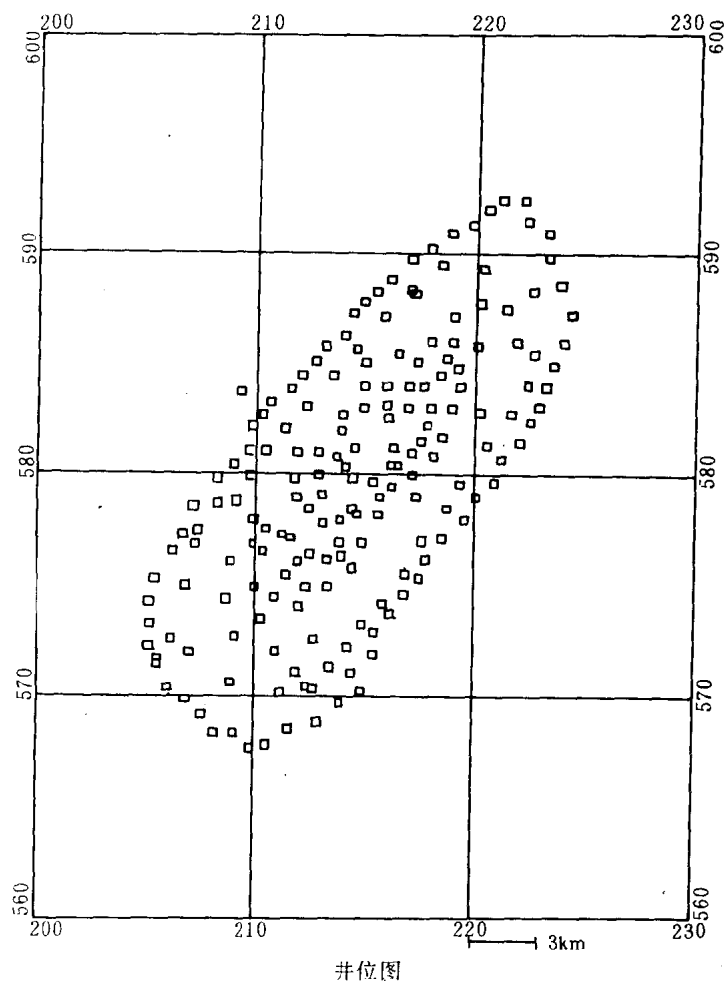


图1 中东油田井位图

储层质量带划分

如上述实例,在大套由缝合面作为隔层的储集层中,其横相向均质在油气开发过程中起着重要作用,其区域分带的重要性是了解储层连续性的基础,这点应充分认识到。

实质上横向分带方法的主要目的是突出流体饱和度和岩性特征的横向变化,然后将具相似性质的井数分组。由于事先已完成纵向分带,这里所要解决的是包括在目的层寻找均质带的分布范围问题,以便通过考虑影响流体饱和度和采收率的横向非均质性以改善井间规模的油藏描述,来提高油藏描述的井间规模。

要实现油田区域分带或网格化,可以应用多种多元统计方法。本文应用了J. P. 本泽克里提出的因子分析方法,也称对应分析。其在石油行业中以各种不同的方式 (Bertrand 等,1981年)得到了广泛应用,而且对目前研究的目标来说,该方法似乎也是适用的,这是由于从定性定量资料角度,它在相同因子空间和数量上提供井的因子变量的投影,缩短了纯粹的描述性方法与数值模型间的差距。在这个实例中岩性、岩相是主要类型资料,这就要求应用对应分析来解决。

先后多次被应用的对应分析的另一个重要特征,是将一组变量子集合绘在一个因子平面上。因子平面从另一组变量集合研究中获得,产生因子轴的子集合称为主要变量,而投影在因子轴上的子集合则称为辅助变量,这个特征可使得人们在通过辅助变量投影检查后选择有意义的子集变量达到确定井组的目的。

即使在对分析中,选择主变量和辅助变量及他们的编码方法也是多种多样的。但直到1983年周等人在输入矩阵为一列联表时对应分析才取得了最好应用效果。该方法是由本泽里处理事件出现频率时提出的,但实际上,应用对应分析在处理析取矩阵 $A = [A_1 A_2]$ 或列联表 $C = [A_1 A_2]$ (注: A_1, A_2 是用1、2表示的变量表) 时取得了同样效果。除比例尺变化很大外,这两种分析特征值由函数关系确定。在这个方法中采用了析取编码,其主要目的是控制地质和岩石物性辅助变量产生的结果。不过应用列联表所获得的结果都是等价的。

更具体地说在这个实例中应用对应分析都是根据下列方法进行的:

1. 使用各种现有资料包括高程、含水饱和度、孔隙度、岩性、岩相、冲洗带含水饱和度、碳氢指数等利用已被编码成类型形式的所有信息。探索性尝试将使对应分析应用到由井数和各种变化组成的析取式矩阵中,尝试的结果是得出了一小变量子集合,可以再现某储集性质分布区内的整体数据模式,确定有意义的井组分类,并且可用地质/岩石物性资料加以检验。在原始变量集合中,高程和含水饱和度作为主变量,去掉了含氢指数和冲洗带含水饱和度,其余特性参数作为辅助变量,用来表达储层地质和地球物理特征,并用于检验以后井组分类。

2. 在选定主要特征参数中使用不同分类界限,建立起双向列联表,每个列联表是一个反映井组出现相对频率的二维直方图,这些井都落在两组变量的分类界限内,并相应给出新选变量的编码。

3. 在每一个列联表中,对应分析算法都被应用到同一等价的矩阵中,把其它标志(如相、岩性、孔隙度、渗透率)看作是辅助变量。

4. 对应分析结果对于每一组变量分类界限都是可比的,它是建立在辅助变量有效投影的基础上的,是对储层地质、岩石物性的充分反映。

5. 根据相邻井的类别和研究目的,结合第4条的分类原则和地质家、专家系统的诊断,可以交互确定最后的分类界线,以对各井组分类并划分有利的储集相带。

交互应用上述方法,可以得出最终成果如图2。

从图2可以看出,当从左至右对抛物线型曲线进行分析,投影出现清楚的结果,储层中含油性依次减小。左上角60口井(第一类)代表最好的储集层;右上角44口井(第七类)处于油水过渡带;第二~四类为过渡类型,位于图2中部和中下部。第四类为典型的过渡类型,位于油水对面方向,标在二号轴上。这种模式在对应分析中称为马蹄效应,或叫 Guttman 效应,它反映因子轴间的非线性关系。这个模式中所有的各类井组都可应用因子分析来确定。

只要给出特征值,正如从这一特别模式所期待的所有分组可仅用它的在因子-1上的得分来确定,这种分数被称为含油质量分布指数。从图2中读出结果,可直接根据特殊析取编码勾绘出来,编码是对应分析乘积形式抑制的惯性轴。对 3×3 列联表与 $C = [A_1 A_2]$ 相当,图2中两个轴代表的惯性矩量正好是100%,73%特征值标在轴1上,27%标在轴2上。

二维数组空间排列如图3所示,其特征用辅助变量的术语表示,见表1。