

中国数学地质

中国地质学会数学地质专业委员会 主编

2

地质出版社

中国数学地质

2

中国地质学会数学地质专业委员会 主编

地质出版社

中国数学地质

2

中国地质学会数学地质专业委员会 主编

*

责任编辑：杨友爱

地质出版社出版发行

(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

*

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：5.5 字数：127000

1990年12月北京第一版·1990年12月北京第一次印刷

印数：1—1050册 国内定价：4.00元

ISBN 7-116-00762-8/P·647

前 言

《中国数学地质》是由中国地质学会数学地质专业委员会主编的不定期连续出版的论文集，它的前身是《数学地质专辑》，已出版了三期，由第四期开始改名为《中国数学地质》。本文集的文章主要选自1989年11月1日至5日在江西省九江市召开的第一届全国地质统计学学术讨论会的论文。本期编辑小组由刘承祚、侯景儒、吴庭芳、王文献、师玉涛、薛禹选等同志组成，负责本期的编辑工作。

中国数学地质 2

编辑小组

1990年7月

目 录

前言

地质统计学发展的回顾与展望.....侯景儒 (1)

利用测井数据和地震数据结合的方法绘制地层等深图

——贝叶斯克立格技术的应用.....王家华 周 叶 (5)

局部估计精度和最佳补钻位置.....王俊庸 宋国强 (12)

对数泛克立格法在铜陵地区1:5万综合信息成矿预测中的应用

.....宋玉玖 丁鹏飞 陈员明 (17)

地质统计学在彬长煤矿区详查地质勘探中的应用.....章必成 许惠民 任秀娟 (24)

应用普通克立格法计算煤矿床储量的研究.....张瑞新 (30)

一种计算块段面积的新方法.....孙洪泉 (37)

品位不均匀的金属矿床金属量分布模型.....林睦盘 (43)

群脉体铀矿床技术经济评价中的厚度参数研究.....师玉涛 (51)

蒙特卡罗法在矿产资源评价中的应用.....吴 刚 (54)

数学地质方法在石油资源评价预测中的应用.....刘承祚 柴俊杰 (62)

附录 国内历年公开出版的地质统计学文献索引..... (83)

地质统计学发展的回顾与展望

侯 景 儒

(北京科技大学)

地质统计学是数学地质学科内一个发展迅速且有广阔应用前景的分支。20多年的生产实践证明地质统计学具有强大的生命力,它在地质科研、找矿勘探、采矿设计及矿山地质等领域日益显示出优越性,并取得了一定的经济效益。目前地质统计学除成功地应用于矿业方面外,还应用于环境科学、农林科学、水利科学及工程地质等方面。我们可以说:凡是要研究空间分布数据的结构性和随机性,并对这批数据进行最优无偏内插估计,或要模拟这批数据的离散性、波动性时,均可应用地质统计学。

地质统计学正式引进我国始于1977年。美国福录尔采矿金属公司的H. M. Parker随美中贸易全国委员会矿业代表团来华访问时,将地质统计学的基本概念系统地介绍给我国有关的数学地质专家。之后,引起了冶金工业部有关人士的极大关注。侯景儒、于崇文、黄竞先、蒋耀淞等人开始系统地对地质统计学的基本理论进行研究,并在一个实际矿区进行试算。1980年中国金属学会冶金地质学会在桂林召开的数学地质遥感地质学术会议上成立了“地质统计学协作小组”,该小组一直担负着冶金系统地质统计学工作的协调、理论方法的研究、程序的编写以及方法的推广应用和普及工作。为了更有效地推广应用地质统计学,近年来出版了许多地质统计学方面的专著(见附录)。由于我国各系统的数学地质工作者的不懈努力,地质统计学在我国很快地开展起来。在冶金、有色、地质、煤炭、核工业、石油等系统举办的历届有关的学术会议上,地质统计学的论文逐年增加,理论及应用水平不断提高。1989年11月1日至5日在江西省九江市召开了第一届全国地质统计学学术讨论会。这次会议说明了地质统计学在我国正在蓬勃发展。

我国的数学地质、矿山地质及采矿设计方面的专家经过十几年的努力,在地质统计学领域取得了不少成就,主要成就归纳如下。

(一)在地质统计学基本理论及方法原理方面有了较大的提高。

1. 线性平稳地质统计学的基本理论是我国研究最深入的方面(也是当前世界上地质统计学领域研究最广泛的方面)。研究内容包括区域化变量理论、变异函数、离差方差及估计方差。其相应的方法——普通克立格法、随机克立格法及简单克立格法的研究取得了很大的进展,特别是普通克立格法研究最为透彻,应用最为广泛。

2. 为了研究和处理具有漂移的地质数据,近几年来重新对线性非平稳地质统计学的理论及方法进行研究。研究内容包括泛克立格法及 K 阶内蕴随机函数法。其中泛克立格法已经成功地应用于物化探数据处理及储量计算方面。

3. 对数正态地质统计学研究已经取得了良好的效果。众所周知,许多金属矿床的品位值及元素的地球化学观测值不服从正态分布,而是服从对数正态分布。为了消除由于分布规律而产生的误差,在对数正态分布及三参数对数正态分布理论研究的基础上,提出了

对数正态泛克立格法, 而且成功地应用于生产中。

4. 已经开始研究非参数地质统计学理论。在地质统计学研究中经常遇到这样三个问题: (1) 地质数据中的特异值; (2) 一个矿床中不同特征矿化 (如贫矿及富矿等) 的品位估计及储量计算; (3) 选择采矿单元中大于边界品位的平均品位及其所占百分比的估计。非参数地质统计学理论解决以上问题的主要方法是指示克立格法。该法在无需去掉重要而实际存在的高值数据的条件下对各种地质现象 (如矿床品位) 进行有效的估计, 而且在一定风险条件下, 给出未知值 $Z(x)$ 的估计量以及在一定界限范围内的空间分布。

5. 多元地质统计学已经引起人们的关注。在地质学研究领域内, 经常要综合分析样品空间位置所表征的多元信息, 并且要对它们进行解释。例如, 在地球化学探矿中必须对异常进行解释, 给出某种矿产资源存在的可能提示。多元地质统计学就是应用区域化变量理论来了解多元数据的空间分布结构。多元地质统计学研究的内容包括两部分: (1) 因子克立格法, 它是一种新的综合了克立格法和主成分分析的方法; (2) 协克立格法, 它是协区域化变量为理论基础的地质统计学方法。

6. 普通克立格法的稳健性研究是提高估计精度的一个有效途径, 我国在这一方面已经开始了探索。传统的试验半变异函数计算公式是:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2$$

只有当 $[Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2$ 呈正态分布时, $\gamma^*(h)$ 才是期望的所有最小方差无偏估计。因此, 特异值既是 $\gamma^*(h)$ 不稳健因素, 也是克立格估计的不稳健因素。为了消除这种不稳健因素, 采用尤伯位置估计 (Huber estimation) 计算 $\gamma^*(h)$, 就可排除各种因素对估计 $\gamma^*(h)$ 的影响, 从而使克立格方差、平均估计误差降为最小。

7. 变异函数、估计方差及离差方差等地质统计学的基本问题的研究取得了可喜的进展。例如, 地质统计学中的估计方差定义如下:

$$\sigma_B^2 = \bar{C}(V, V) + \bar{C}(v, v) - 2\bar{C}(V, v)$$

上式不依赖于各信息样品数值的大小, 只要数据构形不变, 估计方差 σ_B^2 也不改变。如果将这一概念用于确定最佳补钻位置的研究时, 其补钻的最佳位置将落在网格中心。为此, 有人研究提出局部估计方差的概念, 把它定义为:

$$\sigma_B^2 = \sum_{i=1}^n \lambda_i (Z_K^* - Z_i)^2$$

式中: Z_i 为参估信息值, Z_K^* 是块段平均品位的克立格估值, λ_i 是克立格权系数, 这种 σ_B^2 既保持了原来估计方差的优点, 又随参估信息值的大小而变化, 从而更好地表示了局部估计精度, 使补钻的初选位置确定在局部估计方差最大的地方。

8. 地质统计学理论与其他数学方法结合是提高地质统计学水平的又一途径。国外在这方面做了许多工作, 如地质统计学与贝叶斯统计 (Bayes Statistics)、数学形态学、模糊数学、自回归、时间序列分析、分数维等相结合产生出许多新的方法。我国在这方面也进行了一些研究, 如把贝叶斯理论与普通克立格法结合提出的贝叶斯克立格法, 把主成分分析与克立格法结合提出的因子克立格法, 把稳健统计学的若干方法用于地质统计学提出的稳健克立格法等。

9. 非线性平稳地质统计学 (如析取克立格法) 及条件模拟的研究也在逐步开展。

(二) 地质统计学的应用水平不断提高, 应用范围逐步扩大, 主要表现在以下几个方面。

1. 应用最广泛的是矿产资源的品位估计及储量计算。涉及的矿种有: 铁、铜、金、钼、钨、银、铅、锌、铀、铝等金属矿以及煤田、油气等非金属沉积矿床。许多实例证明, 用地质统计学方法计算储量有其独到之处。为了提高计算精度, 应用地质统计学方法时还可采取其他方法。例如, 在金矿脉及群脉体铀矿床的储量计算及技术经济评价中, 对于那些薄而富的矿体常采用米百分数圈定矿体, 其富品位工程样品常使平均品位偏大, 为了消除由此而产生的误差, 对于小于可采厚度的工程样段, 采用最小可采厚度加以贫化, 以降低过高的平均品位, 用这种方法算出的储量及参数进行矿床技术经济评价才能得到良好的效果。

在矿床储量计算及预测工作中, 经常要作吨位—品位曲线。应用地质统计学方法作出的吨位—品位曲线, 不但可以求出对应于任一边界品位的矿石吨位, 进行经济标志分析, 而且还可检验和改进金属矿床的分类, 预测可能存在的矿床。

在煤资源储量计算中常要计算不规则地段面积。当用几何学原理, 对数据进行扫描, 即可快速精确地算出这种面积。

2. 地质统计学成功地应用于物、化探数据处理及异常评价。例如, 在地质矿产部组织的为新一轮固体矿产普查而进行的1:5万综合调查中, 应用对数正态泛克立格法对地球化学的土壤测量资料进行处理, 获得了令人满意的结果。利用贝叶斯克立格法把测井数据(观测数据)和地震数据(猜测数据)结合起来绘制地层等深图已被证明是有效的方法。该法可以使人们在测井数据较稀少的地区利用地震数据提供的信息进行弥补, 因此是一种提供某种信息合成、并被广泛应用于描述油藏特征的好方法。

3. 在矿产资源预测及找矿勘探的各个阶段都可应用地质统计学。例如, 应用泛克立格法、对数正态地质统计学、因子克立格法等处理各种地质数据; 在缩小找矿范围、圈定有利的成矿远景区、确定最优勘探网度及网形、定量地划分矿石储量级别等方面均有成功的实例。

4. 地质统计学开始应用于水文地质及工程地质的研究之中。例如, 应用普通克立格法研究上海地区工程基底面的地下分布特征; 应用地质统计学研究水文站网规划问题及土壤科学空间变异性问题。

5. 地质统计学在农田水利方面的研究已经有了成功的实例。过去对作物需水量的研究侧重于时间上的变化规律, 而对其在空间上的变化规律研究很少。研究表明, 定点观测到的需水量不能代替较大面积上的平均需水量, 更不能简单地用于非测点处。当把作物需水量看成是区域化变量并用地质统计学估计出定点和面积上的需水量时, 其效果就好得多, 经检验其地质统计学估计结果与实际很相似。

6. 在矿山设计中应用地质设计学已见成效。

(三) 我国有些单位已经研制出许多水平较高、实用性较强的地质统计学的计算机程序系统。无论是三维的还是两维的都包括以下内容: 数据分布律的研究及预处理、数据的组合、变异函数的计算及拟合、品位的估计及储量计算、绘制各种图件、打印各种表格等。地质统计学的程序不但在大型、中型计算机上可以实现, 而且在小型及微机上也可以完成各种计算。

(四) 有了一支具有一定理论水平及实践经验的队伍, 出版了一批关于地质统计学的专著及教材, 在国内外一些学术刊物上发表了许多有关地质统计学的理论及应用的研究论文。一些地质院校已把地质统计学作为找矿勘探专业高年级本科生及研究生的必修课或选修课。

(五) 有关地质统计学的国际学术交往促进了我国地质统计学的发展。一些著名的地质统计学家(如A. G. Journel, J. M. Rendu等)先后来我国讲学, 我国也多次派专家去美国、法国等国家从事地质统计学的研究及进修。这些活动对国际学术的交流、提高我国的学术水平及应用水平都大有益处。

十几年来, 我国在地质统计学的理论研究及应用方面取得了一定成绩, 但与国外地质统计学的水平相比, 与生产实际对我们的要求相比仍存在一定差距, 主要表现在以下几个方面。

1. 一些适用性更强, 精度更高的地质统计学理论和方法研究不够, 地质统计学本身的基本理论研究也有待不断提高。

2. 如何将地质统计学应用于找矿勘探、矿山地质及采矿设计中去, 更好地发现矿床、评价矿床, 还有许多工作要做。我国现行的储量计算方法中的多指标制是当前地质统计学在我国储量计算中不能顺利开展的原因之一。如何使地质统计学适应多指标制是今后应该深入研究的课题之一。

3. 许多本来可以用地质统计学解决问题的领域还没有应用。

为了使地质统计学在我国国民经济的有关领域发挥更大的作用, 我国今后的地质统计学研究及应用中应加强以下几方面的工作。

1. 线性地质统计学是地质统计学的基础, 应不断加强理论的研究, 大力普及、推广应用, 使之完善成熟。

2. 加强地质统计学新理论及新方法的研究和应用。当前要深入研究非参数地质统计学(如指示克立格法)、非线性地质统计学(如析取克立格法)、稳健地质统计学、条件模拟以及多元地质统计学。同时, 要注意地质统计学与其他学科的互相渗透, 例如与贝叶斯理论、模糊数学、时间序列分析的结合。

3. 扩大地质统计学的应用领域, 特别要注意地质统计学在环境科学、遥感地质、农田水利、土壤科学、材料科学等方面的应用。

4. 加强地质统计学程序系统和绘图系统的研究。

5. 为了使地质统计学的应用效果更好, 要特别注意特异值的研究以及信息合成的探索。

6. 加强地质统计学、数学、计算机、地质及勘探、矿山地质及经济学等方面专家之间的联系和协作, 使地质统计学在各个领域的应用成果更具经济效益。

利用测井数据和地震数据结合的方法 绘制地层等深图

——贝叶斯克立格技术的应用

王家华 周 叶

(西安石油学院)

摘 要 本文介绍了贝叶斯克立格技术的基本原理和特性,并从分析测井数据和地震数据的特征和互相关系入手,对这两种数据结合绘制等值线图的问题进行了研究。用贝叶斯克立格技术对牛庄油田沙三中底界深度数据进行处理,绘出的等值线图说明:在测井数据稀疏的地区,等值线主要受地震数据的影响,而在测井数据稠密的地区,等值线则主要反映了测井数据的特征。

关键词 贝叶斯克立格,等值线,测井数据,地震数据。

一、引 言

地震和测井是两种重要的石油地球物理勘探技术。它们都可以用来显示地层界面的深度变化,绘制地层等深图。与地震深度数据相比,测井深度数据比较精确,容易和地质资料建立关系。但需要以钻井为条件。在没有井或井的数目很少的、勘探程度比较低的地区,就很难或无法用测井数据分析地层界面深度的变化。然而,地震数据虽然分辨率较低,但分布比较广,在没有钻井的地区也能取得资料。因此,人们很早就开始研究如何把地震和测井这两种技术相结合,并产生了垂直地震剖面 and 合成声波测井等新方法。

油藏描述技术体现当今石油勘探开发的技术发展趋势,其一个重要特点是综合运用地质、地震、测井等资料。使各种资料取长补短、互相验证,从而达到全面准确地反映油藏的各项性质。

Omre在1987年把线性贝叶斯理论运用于克立格估计技术,构想了一个模型,把用以进行空间估计的数据分为观测数据和猜测数据。从而提出了贝叶斯克立格估计技术。

在这种技术中,观测数据是指那些精确度比较高,但空间分布比较少的数据,而猜测数据则是指精确度比较低,但分布比较广的数据。其估计的结果有这样的趋势:在观测数据比较密集的区域,估计结果主要取决于观测数据。而在观测数据比较稀少的地区,估计结果主要受猜测数据的影响。显然,观测数据和猜测数据之间的关系与测井数据和地震数据之间的关系相当类同。因此,可以把测井数据视为观测数据,而把地震数据视为猜测数据,用贝叶斯克立格估计技术进行空间估计。从而绘制出由测井资料和地震资料结合产生

的等值线图。

利用贝叶斯克立格技术使测井数据和地震数据相结合,而不是从地震剖面上读得地层在各点的深度,以弥补测井数据的不足,其原因可分析如下:

1. 地震数据是一个整体,它在反映地层界面在一个地区总的变化趋势方面还是具有比较好的效果。因此,把它变成单个的类似于测井数据的信息,显得不适当。

2. 地震深度数据和测井数据在可信度方面有一定的差别,把这两类数据不加区别地混在一起,显然是不合适的。

3. 在一个地区要明确地划分出井密的地区和井稀的地区是比较困难的,因此也很难确定应在何处对地震剖面进行读数。

二、贝叶斯克立格估计的原理

1. 基本的记号和关系式

用 $\{z(x); x \in A\}$ 表示区域 A 上的一个区域性变量,其相应的随机函数可记为:

$$\{Z(x); x \in A\} \quad (1)$$

考虑另外一个定义在区域 A 上的区域性变量 $m(x)$, $x \in A$, 其对应的随机函数为:

$$\{M(x); x \in A\} \quad (2)$$

具有:

$$E\{M(x)\} = \mu_M(x), \quad x \in A \quad (3)$$

$$\text{cov}\{M(x'), M(x'')\} = C_M(x', x''), \quad x', x'' \in A \quad (4)$$

值得指出的是,这里 $M(x)$ 的协方差函数不仅和两个点之间的相对位置有关,而且还和两个点的具体位置有关。这就意味着相应的半变异函数有以下的定义:

$$\begin{aligned} \gamma_M(x', x'') &= \frac{1}{2} \text{var}\{M(x') - M(x'')\} \\ &= \{C_M(x', x') + C_M(x'', x'')\} / 2 - \\ &\quad - C_M(x', x''), \quad x', x'' \in A \end{aligned} \quad (5)$$

假设随机变量 $Z(x)$ 和 $M(x)$ 之间有如下关系:

$$E\{Z(x') | M(x); x \in A\} = a_0 + M(x'), \quad x' \in A \quad (6)$$

$$\text{cov}\{Z(x'), Z(x'') | M(x); x \in A\} = C_{Z|M}(x' - x''), \quad x', x'' \in A \quad (7)$$

在这里 $M(x)$ 被认为是对于变量 $Z(x)$ 的期望函数形状的一种猜想,且这种猜想带有不确定性。常数 a_0 的引入是为了减弱 $M(x)$ 的误差带来的影响。

公式 (7) 的成立意味着 $Z(x)$ 对 $M(x)$ 的条件协方差函数可表为 $(x' - x'')$ 的函数,即仅和两点之间的距离有关。这就要求 $Z(x)$ 对其期望函数 $a_0 + M(x)$ 是二阶平稳的。这个假设和普通克立格估计中的相类似。公式 (7) 还要求下式成立:

$$\text{var}\{Z(x') - Z(x'') | M(x); x \in A\} = 2\gamma_{Z|M}(x' - x''), \quad x', x'' \in A \quad (8)$$

此式说明 $Z(x)$ 对于 $M(x)$ 的条件半变异函数仅和 x' 和 x'' 的相对位置有关。

从线性贝叶斯理论,可知关于条件期望和条件协方差有如下的关系式:

$$E\{Y_1\} = E\{E\{Y_1 | Y_3\}\} \quad (9)$$

$$\text{cov}\{Y_1, Y_2\} = E\{\text{cov}[Y_1, Y_2 | Y_3]\} + \text{cov}\{E[Y_1 | Y_3], E[Y_2 | Y_3]\} \quad (10)$$

其中 Y_1, Y_2, Y_3 是任意的随机变量。

利用公式(9)和(10)、再结合公式(6)和(7),可进一步得到以下的四个式子:

$$\mu_Z(x') = a_0 + \mu_M(x') \quad (11)$$

$$C_{ZM}(x', x'') = C_M(x', x'') \quad (12)$$

$$C_Z(x', x'') = C_{Z|M}(x' - x'') + C_M(x', x'') \quad (13)$$

$$\gamma_Z(x', x'') = \gamma_{Z|M}(x' - x'') + \gamma_M(x', x'') \quad (14)$$

借助于线性贝叶斯理论推导出来的这四个公式在以后的推导中具有重要的作用。这就是贝叶斯克立格法的来由。

在这里, $Z(x)$ 虽被假定为未知,但又假定它在位置 $X_i \in A (i=1, 2, \dots, N)$ 上可以被观测到。因此可不严格地称之为观测数据。此外,随机函数 $M(x)$ 作为 $Z(x)$ 的期望函数的一种猜测。要求其一阶矩、二阶矩是已知的。为了方便起见,可不严格地称 $M(x)$ 为猜测数据。

把原始数据按其性质的不同,分为观测数据和猜测数据是贝叶斯克立格估计的一个前提。也是区别于普通克立格法的一个特征。

2. 贝叶斯克立格估计

假定得到了随机函数 $Z(x)$; $x \in A$ 的一组观测值

$$\{Z(X_i); i=1, \dots, N\}$$

可以定义一个随机函数

$$\{Z^T(x) = Z(x) - \mu_M(x); x \in A\}$$

从而有一组相应的观测值

$$\{Z^T(x_i) = Z(x_i) - \mu_M(x_i); i=1, \dots, N\}$$

和普通克立格估计不同,贝叶斯克立格估计希望得到的估计值 $Z^*(x_0)$ 是如下形式的线性组合:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \alpha_i Z^T(x_i) + \mu_M(x_0)$$

其中 x_0 是区域 A 中的任意一点, $\alpha_i (i=1, \dots, N)$ 是待定的加权系数。

和普通克立格估计一样,对于贝叶斯克立格估计,也是通过以下的无偏和最小方差两个条件:

$$E\{Z(x_0) - Z^*(x_0)\} = 0$$

$$\text{var}\{Z(x_0) - Z^*(x_0)\} = \min$$

得到关于加权系数 α_i 的克立格方程组:

$$\begin{aligned} \sum_i \alpha_i \{\gamma_{Z|M}(x_i - x_j) + \gamma_M(x_i, x_j)\} + \beta &= \gamma_{Z|M}(x_0 - x_j) + \\ &+ \gamma_M(x_0, x_j) \quad j=1, \dots, N \\ \sum_i \alpha_i &= 1 \end{aligned} \quad (15)$$

其中 β 是拉格朗日常数。

3. 半变异函数的估算

和普通克立格估计一样,为了求解克立格方程组(15),必须估算半变异函数。然而,

由于引入了带有不确定的猜测数据 $M(x)$ ，因此，贝叶斯克立格估计时，关于半变异函数的估算变得更复杂了。

由于 $M(x)$ 带有不确定性，因此不能再把它限制在一个比较窄的函数类内。需要放松对其限制条件。这样，再要求 $M(x)$ 是二阶平稳就不合适了。因此，把 $M(x)$ 的协方差函数 $C_M(x', x'')$ 的形式推广到如下—类更广的函数：

$$C_M(x', x'') = \sigma_M(x') \sigma_M(x'') C_S(x' - x''); \quad x', x'' \in A \quad (16)$$

其中

$$\sigma_M^2(x) = \text{var}\{M(x)\}$$

$C_S(x' - x'')$ 是一个空间相关函数，且满足正定条件。

考虑到关系式(5)，就有：

$$\begin{aligned} \gamma_M(x', x'') &= [\sigma_M(x') - \sigma_M(x'')]^2/2 + \\ &+ \sigma_M(x') \sigma_M(x'') \gamma_S(x' - x'') \end{aligned} \quad (17)$$

其中

$$\gamma_S(x' - x'') = 1 - C_S(x' - x'')$$

从公式(13)，又可得到：

$$\text{var}[Z(x') - Z(x'')] = 2[\gamma_{Z|M}(x' - x'') + \gamma_M(x', x'')] \quad (18)$$

进一步有：

$$\begin{aligned} \gamma_{Z|M}(x' - x'') &= \frac{1}{2} E\{[Z(x') - Z(x'')]^2\} - \\ &- \frac{1}{2} [\mu_M(x') - \mu_M(x'')]^2 - \gamma_M(x', x'') \end{aligned} \quad (19)$$

记 h 为区域 A 中的一个向量，可定义集合 D_h 如下：

$$D_h: \{(i, j) | x_i - x_j = h \text{ 或 } x_j - x_i = h, i, j = 1, \dots, N\}$$

设 N_h 是 D_h 中元素的个数，于是有：

$$\begin{aligned} \hat{\gamma}_{Z|M}(h) &= \frac{1}{2N_h} \sum_{(i,j) \in D_h} \{[Z(x_i) - Z(x_j)]^2 - \\ &- [\mu_M(x_i) - \mu_M(x_j)]^2 - 2\gamma_M(x_i, x_j)\} \end{aligned} \quad (20)$$

可以证明： $\hat{\gamma}_{Z|M}(h)$ 是 $\gamma_{Z|M}(h)$ 对所有的 h 的无偏估计，也就是通常所说的实验半变异函数。克立格方程组系数中所涉及的 $\gamma_{Z|M}(h)$ 是用一个正定函数对这个估计值进行拟合而得来的。

三、应用实例

图1给出的是牛庄油田的一幅井位分布图。图2是根据图1所示的31口井所取得的测井数据，用普通克立格法绘制的 T_6 反射层（沙三中底界）深度的等值线图。图3是用地震方法取得的该层深度的等值线图。将该层的测井深度视为观测数据，而把地震深度视为猜测数据，进行贝叶斯克立格估计所得的结果绘成的等值线图由图4给出。把这四幅图进行对比分析，就可以看出贝叶斯克立格估计的效果。

对比图2和图3可见，测井数据和地震数据都显示了在该地区东北部有一组互相套合的

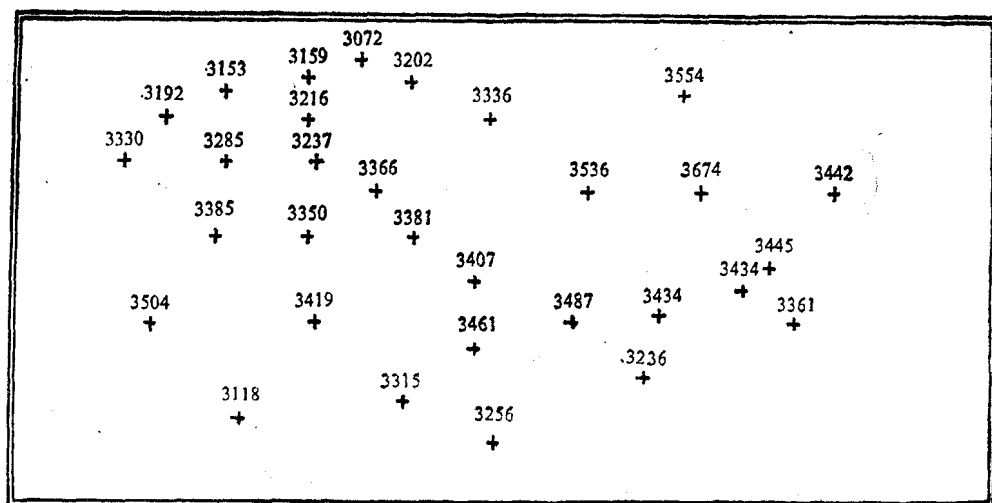


图 1 井位分布图

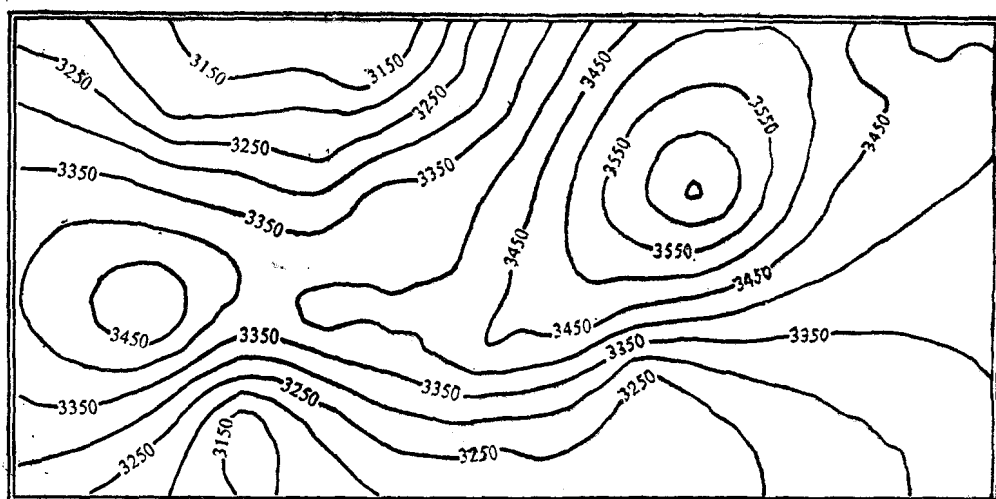


图 2 用测井数据绘制的等值线图

闭合的等值线，是全区最低的部位。在这个部位的西北和东南两测，地震数据作出的等值线分布密集，表示深度变化剧烈。而测井数据作出的等值线则相对比较稀疏，表示深度变化比较平缓。可见，两种数据在反映同一个地区时，结果是有差异的。

再来看图4，在这两侧地区，等值线也呈密集分布，体现了地震数据的特征。分析其原因，可明显看出，在这两个地区，油井数目比较少。

至于该地区的西北部分，可以明显看出，图4中的3350、3300、3250三条等值线的形态和图2的相应等值线的形态很相近，而和图3中的相应的等值线很不相似。显然，其原因是该局部地区的油井数目比较多，贝叶斯克立格估计的结果主要受观测数据的影响比较大，因此体现了测井数据的特征。

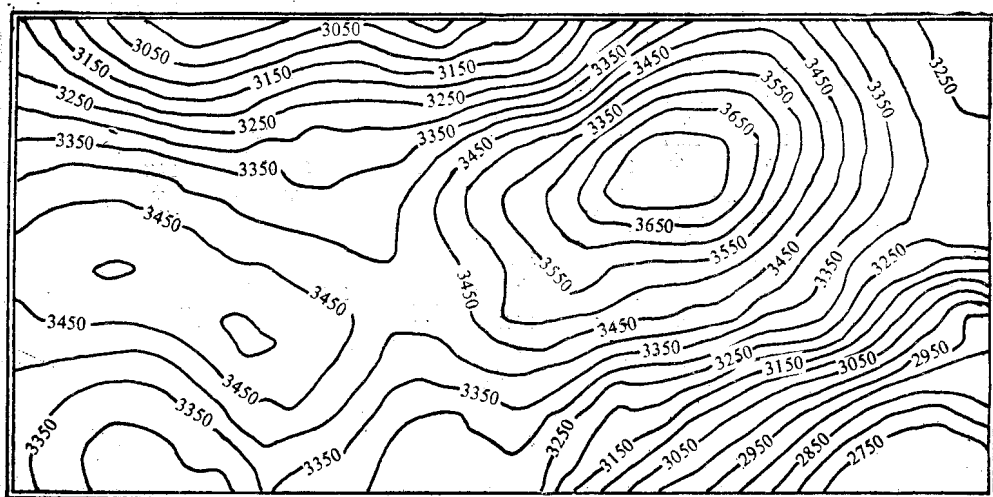


图 3 基于地震数据的合理猜测图

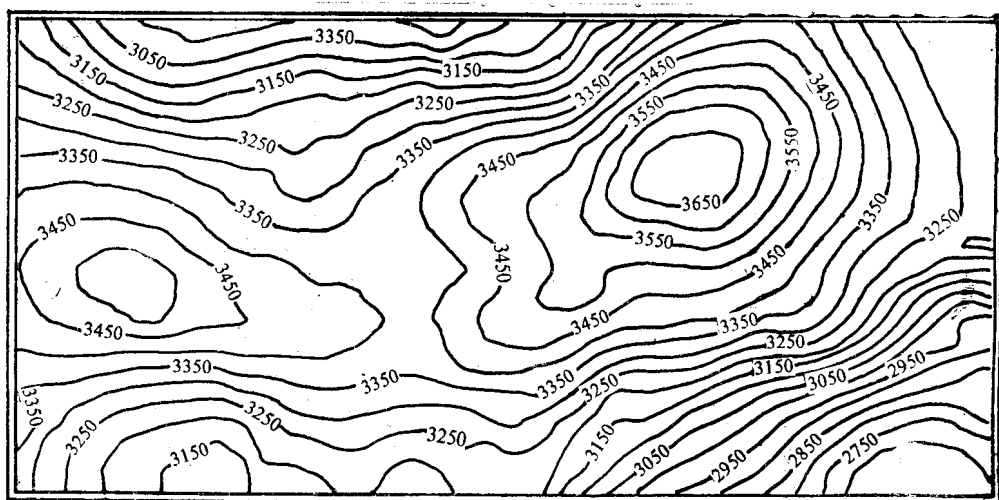


图 4 地震数据与测井数据相结合绘制的等值线图

四、结 论

以上讨论说明, 利用贝叶斯克里格方法, 把测井数据视为观测数据, 而把地震数据视为猜测数据, 从而把地震数据和测井数据结合起来绘出的地层等深图是有初步成效的。在测井数据比较稀少的地区, 该等值线图主要反映了地震数据的特征, 从而克服了测井数据过少带来的不足。而在测井数据比较稠密的地区, 该等值线图又主要反映了测井数据的特征, 保持了测井数据的优点。因此说, 该等值线图有机地把测井数据和地震数据结合起来了。

测井数据和地震数据是油藏描述技术中两类主要的数据, 它们的互相结合并进行综合

应用是油藏描述技术研究工作中的一个重要内容。本文的工作尚属初步阶段，但在油藏描述技术中如何把测井数据和地震数据相结合方面的意义则是十分明显的。

贝叶斯克立格方法的基本目的是把两类性质不同而又相互关联的数据结合起来综合运用，以便互相弥补。这种方法所提供的校正数据的新模式是十分可贵的。在油藏描述中，把这种新模式在一个更广的范围内应用，将是一个十分引人的研究题目。

参 考 文 献

Omre, Henning Jan, 1987, Bayesian-Kriging—Merging Observations and Qualified Guesses in Kriging, *Mathematical Geology*, Vol. 19, Number 1.

局部估计精度和最佳补钻位置

王俊庸 宋国强

(沈阳煤矿设计院)

摘 要 克立格方差与邻域参估信息值的大小无关,因而,它可以被用来优选基本网度而不能作为局部估计精度的指标。局部估计时,邻域参估信息值的大小及波动对局部估计精度有很大影响,而且新定义的局部估计方差 σ_k^2 ,在保持克立格估值无偏而且估计方差最小的基础上,又充分地体现了邻域参估信息值对估计精度的影响,因此可用其表征局部估计精度。在局部估计方差等值线图上,其最大值所在处即是最佳补钻位置。

关键词 估计方差,克立格方差,局部估计方差。

在矿床勘探乃至矿山设计与生产过程中,不可避免地会遇到补钻和加密勘探问题。多年来,由于没有适用于地质学研究的局部估计精度定量指标,因此,对此只能凭经验定性地予以解决。地质统计学的产生为矿床品位的局部估计提供了克立格方差,并认为是衡量局部估计精度的定量指标而且用其确定最佳补钻位置。

笔者认为:对克立格方差的上述认识值得商榷,应该寻求新的表征具体条件下的局部估计精度的定量指标及确定最佳补钻位置的方法。

1. 克立格方差及其应用

地质统计学的估值是局部估计,其估值模式为加权滑动平均,它的优点在于参与局部估计的权系数是保证估值无偏而又估计方差最小的权系数。

普通克立格法是一种线性平稳克立格法,亦为地质统计学最基本的估值方法,其局部估计的成果体现在克立格估值与克立格方差两个主要方面,二者不可分割。前者是最佳无偏估计量,后者是此估计量的估计方差。

克立格方差 σ_k^2 是由估计方差导出的,当用邻域点信息估计待估块段的平均品位时

$$\sigma_k^2 = \bar{C}(V, V) - \sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{C}(X_i, V) + \mu \quad (1)$$

或者

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{\gamma}(X_i, V) - \bar{\gamma}(V, V) + \mu \quad (2)$$

式中, V 为在一定几何支撑下的待估块段, X_i 为估值邻域内参估点信息值, $(i=1, 2, \dots, n)$; λ_i 为参与估计的各点信息权系数, $(i=1, 2, \dots, n)$; $\bar{C}(V, V)$ 或 $\bar{\gamma}(V, V)$ 为待估块 V 自身的协方差函数平均值或半变异函数平均值; $\bar{C}(X_i, V)$ 或 $\bar{\gamma}(X_i, V)$ 为参估信息与待估块之间的协方差函数平均值或半变异函数平均值; μ 为解算克立格方程组时得出的拉格朗日乘子。

由式(1)、(2)可见,克立格方差的大小是由参估信息与待估块段之间的结构函数、待估块段自身的结构函数值及估值权系数所决定的,与参估信息值的大小无关,这是克立格