地质统计学对找矿勘探的贡献

陈 伯 茂

（成都地质学院）

作者简介 成都地质学院讲师，1964年毕业于长春地质学院，是年分配在成都地质学院任教。1979年开始研究地质统计学理论及其在矿床勘探中的应用。1981年11月至1983年底由教育部派往法国巴黎地质统计学究研中心进修，现在从事找矿勘探地质学和地质统计学的教学和科研。

在矿产普查勘探的漫长历史中，地质勘探理论经历了三个阶段：传统地质学、数理统计和地质统计学。地质统计学是近来发展起来的一门应用统计学，它是用随机函数理论和变差函数工具来研究区域化变量的，而地质勘探工作所获取的特征值为标志层标高、断层产状、品位、厚度、矿石体重等也都是一些空间相关的区域化变量。所以地质统计学在地质勘探工作中，尤其在地质构造轴线的确定、矿产资源的评价、勘探靶区的选择、矿体变化性的研究、勘探方案的最佳选择、勘探网度的确定、地质储量的精确估计、矿体的总体估计、取样误差的计算、矿产储量的定量分级、可采储量的局部估计及品位—吨位关系等方面都有着极其广泛的应用。无疑，这对找矿勘探地质学是一个补充和完善。可以相信，随着地质统计学理论和实践的发展，它还会继续不断地对地质勘探工作做出新的贡献。

人类对矿产的寻找与勘探的认识，可以追溯到史前时期，而且这些知识也往往与矿床成因紧密联系在一起。矿床不仅具有地质的意义，而且还带有经济的观点，欧美国家都把找矿勘探、矿床成因统统合并在“经济地质”(Economic Geology)的范畴。最早系统性的著作是F.Posepny's的著述《The genesis of ore deposits》(1893年，纽约版)。适应矿床的找寻和勘查以及经济评价，1920年才从经济地质中独立出矿床的普查与勘探的学科。这个趋势在苏联表现得最为明显，当时在地质院校就开始讲授《勘探作业》，И．С．瓦西里也夫（1929）编写了《勘探作业方法教程》，В．М．克列特尔（1931）著有《矿床普查与勘探的方法学》，他们综合了苏联第一个五年计划期间矿床普查与勘探的实际经验。这是找矿勘探地质学的萌芽阶段，主要涉及找矿勘探的地质问题。

学科间相互渗透与相互影响是近代科学发展的一个特征。三十年代开始，数学特别是概率论与数理统计在找矿勘探工作中得到了广泛的应用，把地质勘探的数据看成为随机变量，以解决矿床特征值的分布规律、矿体变化特征、勘探类型及网度的确定、储量计算的精度、特高品位的判断、伴生元素的估计以及矿产资源的预测等问题，大大地丰富了找矿勘探地质学的内容。与苏联相比，此时欧美国家关于普查与勘探的文献较少，每个地质工作者仅使用从经济地质学的教师那儿学到的方法开展矿床普查与勘探工作。美国最著名的著作为H.E.Mckinstry(1948)的《Mining Geology》和W.W.von Bernewitz(1943)的《小矿山普查和开发手册》；在法国写得较详细的是L.Thiebaut(1943)《金属矿床经济研究》和仅20页的P.Despujols和H.Termier的《矿产勘探和矿床研究导论》。数理统计与地质勘探工作的结合是第二阶段的特点，集中体现在В．М.克列特尔（1940）《矿床普查与勘探》著作中，后来再版为二卷本（1961，1962）。

50年代末，苏联不少学者对矿体特征值的性质进行过长期争论，对它们属于随机性和采用统计学方法进行研究产生了怀疑，Д．А．晋科夫（1955）认为矿床特征值还存在规则连续的变化。В．С．普加切夫（1960），А．Б．维斯捷利乌斯（1962）认为矿体特征值不是一个随机变量，也不是一个普通空间的坐标函数，而是较高级的随机函数。后者引用了А．Е．弗尔斯曼的理论，任何一个矿床都可视为一个地球化学场。在这个场内矿产的集中和分散是由于一定的地质、地球

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

化学及其他作用活动的结果，……这些作用的活动可能彼此叠加，以致抵消，可是矿产在空间的分布并非随机的，因为在矿床的生成过程中的每一作用所起的影响是不同的。然而从另一方面来看，这种大量的经常相互矛盾的作用所构成的总活动，导致了有益组份并不是按严格规律性分布。众所周知，某一参数的变化规律性只有在整个矿体或其中一些巨大的矿段中才能确定。在每一具体点上品位的实际数值相对于具有上述规律性的参数值总是有着某种程度的偏差。这种随机偏差的产生，一方面取决于矿体的具体结构，另一方面则取决于测量特性（样品的体积、分配及相邻样品的间距）。这段话明确指出地质勘探数据的随机函数性质及其地质成因，这已经非常接近现在地质统计学的思想。B.M.克列特尔早在1940年就认为矿体地质特征存在着空间相关，而不存在独立性。苏联学者A.П.格鲁杰夫（1961）提出变化系数的校正公式。当然这并没有彻底解决问题。用随机函数理论系统研究地质勘探特征值的学者还是法国地质统计学家G·马特隆教授。60年代初，他系统地提出了地质统计学的理论与方法。它以随机函数、区域化变量为理论，以变差函数和变差曲线为基本工具，以克里格法为基本方法，以精确估计矿产储量为目的的一门应用统计学。二十多年来，这门新兴学科理论日益完善，其应用范围也不断扩大。特别它在地质勘探理论，诸如矿产资源估计、勘探靶区选择、矿体变化性的研究、勘探方案的最佳选择、勘探网度的确定、原地储量的精确估计、矿体的总体估计、取样误差的计算、矿产储量的定量分级、回收储量的局部估计及吨位—品位的关系等方面，都得到了广泛的应用。这应该说是地质勘探理论的第三阶段的特色。

在地质构造研究中确定褶皱轴的方向

变差函数和变差曲线是描述变量空间变化的有效工具，基台值的大小反映变量变差值的大小。由于标志层高程在平行褶皱轴方向上变化最小，而垂直于褶皱轴方向上变化最大，因此鉴别地下岩层褶皱轴向时，可以用地下某标志层的标高值作出若干个方向的变差曲线，然后选择基台值最小的变差曲线的方向，作为褶皱轴线的方向。惠顿（Whitten）(1977,1979）就是用这种方法在美国密执安盆地查明了褶皱的趋势的。

选择勘探靶区

勘探靶区就是在找矿中发现有希望的成矿区、矿点和高含量的异常区，为今后矿床勘探提供基地。选择好大量而可靠的勘探靶区，对国家经济规划和建设是很重要的。

选择勘探靶区除了主要运用地质理论和成矿规律之外，还大量采用物探、化探、遥感和数学地质的方法。传统的数据处理多采用变量相互独立的统计学方法，而且多是单变量。实际上，这些数据是空间相关的，如果运用地质统计学方法，就会更客观地反映异常的存在，提高圈定异常的效果。近年来法国Luc SANDJIVY曾用多变量的协克里格法（Cokriging）处理化探数据铜、铅、锌，取得较好的效果，充分利用了现有的信息。

物探（磁性、重力）数据的处理，通常采用傅立叶级数分析方法，往往要求规则网格、滤波、平滑和外推等技术，实质上，它是用确定函数的近似方法解决的。G.马特隆教授1982年提出了因子克里格法分析(The factorial kriging Analysis)，它是把克里格法和主要组份分析结合在地质统计学的结构中，把变量分离出与不同频率段有关的主要组份。法国Calli（1983），Chiles（1984）采用这种方法克服傅立叶级数分析所存在的缺点，同样得到效果好的等值线图，圈定出异常区。

勘探靶区的选择除了取决于地质模型外，还取决于经济条件。后者可以利用吨位—品位曲线进行动态的筛选。

矿产资源评价

矿产资源是属于潜在资源，涉及到整个国家、地区或岩石类型的范围。在这样大的范围，要达到地质统计学模型所固有的假设（平稳、内稳）是不可能的，但是它可以先分别计算出单个矿床的储量，然后相加，估计矿床整体的参数及其置信区界，定量指导矿产资源评价。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

资源总量评价中常用方法之一是丰度法，主要是通过建立一个地区丰度与资源量的模型。荷兰地质统计学家De Wijs曾提出戴·维依斯模型，在非均匀化过程基础上，认为矿石和岩石本质是无质的区别，矿石是一种特殊岩石。在保证总平均品位不变和封闭系统，即总量、总平均品位不变情况下，不断发生丰度分异，总有一块会超过边界品位而成为一个相当规模的矿床。资源大于边界品位的矿石量为

$$T_{q'}=\frac{T}{2^{\beta}}\sum_{k=0}^{\beta}C_{\beta}^{k}$$

大于边界品位的矿石量的平均品位为

$$q_{q'}=\overline{Q}\sum_{k=0}^{k}C_{\beta}^{k}(1+d)^{\beta-k}(1-d)^{k}/\sum_{k=0}^{k}C_{\beta}^{k}$$

式中 T —整个区域的总重量，可以估算；

$T_{q'}$ —边界品位以上的资源量；

q' —边界品位；

β —分异次数，一般用公式$\beta=\ln N/\ln 2$ 求得，N 为用于计算区域元素丰度的样品数；

C_{β}^{k} —二项式系数，k为所划分的第几块数；

$\overline{Q}$ —区域的元素原始平均丰度，根据样品求得；

d —为分异系数。

这个模型在给定分异次数β、区域总重量T、平均丰度$\overline{Q}$和所求的块序数 k ，就可求得所给边界品位的矿石量、金属量和平均品位，对区域矿产资源评价是很有意义的。

矿体变化性质和变化程度

变差函数和变差曲线是刻划区域变化量的空间连续性的有力工具。它能反映矿体特征值的连续程度、变化性质，具有更大的概括能力。通过不同方向变差曲线的分析可以判断矿体变化的各向同性和各向异性；变差曲线的模型及其参数反映了矿体变化的性质与特征：变程（a）表示区域化变量的影响范围，可以了解矿体矿化水平不同的“显微盆地”，反映矿巢的平均大小；基台值（C'）大小反映区域化变量的变化幅度；块金（C_0）大小反映极小距离内样品值的离散程度，属随机部分；拱高（C）是区域化变量离散程度的测度，属于结构部分。

近年来不少人在探讨用什么量来刻划矿体的变化性和变化程度。

A. Royle（1980）提出用相对块金效应$\varepsilon=\frac{C_0}{C}$，反映矿体变化性，当$C_0=C$，$\varepsilon=1$，即表示随机模型，空间失去相关，可采用传统的统计学方法。当$C_0=0$，即$\varepsilon=0$，反映矿体的结构性特点。

赵鹏大等（1983）采用综合指标，即矿体自相关指数A（$A=\frac{C}{C'}\times\frac{a}{L}$，$L$ 为矿化几何域），划分出四个自相关等级标准，可与传统的矿体变化程度相对应。

胡光道（1985）提出无量纲的综合性指标B，它与基台值C、变程a、实验平均值m^*和矿化长度一半L有关，即$B=CL/\sqrt{C^2L^2+a^2m^{*4}}$。它能够全面地综合矿体变化速度、变化幅度、变化范围及空间变异性之间的关系，并且提出研究矿体各向同性、各向异性的12种图形，对矿体变化特征进行了分类。

吴龙英（1986）提出球状模型的变化程度系数Φ，即单位变程长度上的方差大小，$\Phi=(C_0+0.625C)/a$，该系数与随机变化部分块金C_0、结构变化部分C和变程a有关。并且还采用相对变化程度系数$V_\Phi=\Phi/\overline{m}$（$\overline{m}$ 为地质变量的平均值）。这些系数可以比较不同矿体变化程度的大小。

勘探网度的确定

地质统计学理论是考虑了地质变量空间相关程度的影响范围，这对于确定勘探网度具有一定的优越性，目前所用方法有：

1. 应用变程确定工程间距

变程大小取决于矿床本身性质，对于金属矿床变程影响范围可达数百米，但对铀矿、金矿可以很小。决定矿床的勘探网度时，这个影响范围的参数是很重要的，可以作为确定钻孔网度的依据。工程间距取等于或小于变程值，就能控制住矿体的变化。

2. 勘探网的确定

通过不同方向的变差曲线，可以分别得到相

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

应的变程，作出变程椭球体，从而判断矿体变化性最大的方向，便于确定勘探线方向、选择勘探网的形式及其大小。

3.应用估计方差确定合理的勘探网度

估计方差σ_E^2就是从一个钻孔的信息推断到矿体内某矿块时所产生的误差。这种估计误差的大小取决于样品信息的性质与数量，矿化空间的规则性和被估计矿块的大小（相当勘探网大小）。因此，我们分别计算出控制面积相应的平均估计方差和投资额，作出面积（投资额）—估计方差曲线，选择估计方差小而投资额低的对应网度，这就是最佳勘探网度。

确定最优孔位

最优孔位应该布置在估计方差最大的矿块和矿体变化转折处，就可以控制矿体的变化。

1.利用估计方差σ_E^2来确定最优孔位

当n个钻孔完工后，分别计算每个钻孔的估计方差$\sigma_{E(n)}^2$和增加某一个钻孔x_i后的估计方差$\sigma_{E(n+1,\ x_i)}^2$然后计算每个钻孔的相对收益$G_{(x_i)}=\dfrac{\sigma_{E(n)}^2-\sigma_{E(n+1,x_i)}^2}{\sigma_{E(n)}^2}\times 100\%$，绘制全区的相对收益等曲线，如果该等值线图的高点与x_i位置重合，说明x_i位置是最优孔位，否则，改变x_i的位置，再重复上述计算，直至等值线图的高点与x_i位置重合。

2.响应面钻探法

响应面（Response Surfaces）是五十年代为寻找极值而提出的统计方法。用数学方法求得最能反映矿体变化特征的极值，在极值点上布置钻孔而控制一定形状的面积。原先是采用趋势分析方法，这是把矿体顶板标高值看成随机变量。地质统计学是把矿体顶板标高、矿体厚度及平均品位都当作区域化变量，用克里格法求各网点的估计，绘制等值线图，在图上寻找极值点，也就是构造的转折点、热液矿化晕的中心、矿体的顶点或低点，作为钻孔设计目标，有助于控制矿体的变化。

取样间距的最优化

在沿脉和掌子面上取样存在一个取样间距问题，这影响着取样成本和代表性，以往都是通过经验类比法确定。J．M．伦杜（1976）曾用地质统计学方法探讨过这个问题。取样最优化实质上就是在采样成本固定的情况下使样品估计误差减到最小的问题。但采样成本因素很多，很难考虑，这可以采用比较固定样品总数n的办法来代替。用变差函数计算样品数n不同和样品间距不同时的估计方差值，作成估计误差和沿工作面采样的间距的关系图，从而确定采样工作面的最佳间距。

样品制备的误差计算

实验室样品（The Lab-Subsample）的代表性问题，在正常情况下一般不被人们重视，但是当矿化极不均匀时，如金等贵金属，在加工、拌匀、缩分时，样品制备的误差可以变得很大。这个问题由法国学者Pierre M. GY教授（1967，1975）广泛地研究过，几乎化去了他的一生来探讨取样误差的方差，他认为样品制备误差与质量（M）、粒度（d）、矿粒形态（f）有关，提出GY公式：

$$S^2=mlfgd^3/M_E$$

式中m—为矿化参数，单位g/cm^3，它是单位质量和脉石、矿石组成值的函数；

l—离解参数，它是原样中颗粒最大直径和离解后最大直径的比值，可以查表得出；

f—形态因子（不考虑粒级大小），$f\cdot d^3$为颗粒的体积，一般为0.5，对于片状矿物为0.2；

g—粒径分布因子，对于筛下物质取0.25值；对于两筛之间的粒级在0.25～0.75变化，平均值为0.5；

d—碎样最大粒径，单位cm，等于筛上物保留5％的方网的孔径边长。

为了减少计算的参数，简化GY公式，D．Fabrice（1982，1983）利用G·马特隆教授的误差方差表达式，提出制备样品的相对方差为：

$$\sigma_R^2=\frac{1}{M}\left[\frac{P_iV_i(t_i-t)+P_0V_0(t-t_0)}{t^2}\right]\frac{(t_i-t)(t-t_0)}{t_i-t_0}$$

式中 M—样品重量；

P_i—第i阶段粒级重量；

V_i—第i阶段颗粒的平均体积；

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

t_i — 第i阶段的样品值。

外来值的判断与处理

外来值（Outlier）是指样品的特高值或风暴值，一般超过平均值的若干倍，是样本母体之外的野值，这对平均值的估计，变差函数计算都会产生严重的影响。稳健统计学指出，当观测值数据呈长尾偏态分布或者其变化系数很大时，样本均值并非母体均值的最优估计。这些外来值可以把统计结论引向歧途。如何判断与处理这些外来值是一个很灵敏问题。不少学者对此进行过研究，早在十八世纪，贝努利（Bernoulli）1778年就开始研究这些外来值的影响，提出检验方法，至今已有十多种方法，而这些方法不是凭实际经验判断，就是建立在独立随机变量的基础上的。但是地质变量却是一种空间相关的，应该考虑外来值出现的地质依据和限制它的影响范围。

贺少辉（1985）认为，特高品位的出现是固有的地质现象，是客观的反映，如果特高品位的出现不是由化验或取样时人为引起的，则特高品位应和其它品位一样参加平均品位计算，但应限制它的影响范围，保持其应有的地位是必要的。那么这个影响范围就可以用变程来确定，特高品位以其纵横向变程大小单独圈出作为一矿块进行计算，避免扩大特高品位的影响范围。

判别外来值可以采用邻域法①，其模型为

$$I_0 = \frac{n(G-M)^2}{(n+1)\sigma^2}$$

式中 n — 邻域大小；

M — 邻域的平均值；

G — 可疑值；

σ — 邻域的离散方差，用地质统计学方法计算，而变差函数采用D.G.克里格（1982）的稳健估计（Robust Estimation）。

$$2r(h) = \overline{Y}^4(0.457 + 0.494n^{-1} + 0.045n^{-2})$$

$$\overline{Y} = \sum_{i=1}^{n} Y_i/n \qquad Y_i = \sqrt{|Z_{(t+h)} - Z_t|}$$

（$Z_{(t+h)}$，Z_t为$t+h$，t两点的样品值）

地质储量的计算

泰勒（1972）把采矿活动划分为三个阶段：

1.勘探和钻探阶段　它以确定地质储量（Geological reserves）为终结。

2.工程研究阶段　确定不同条件下的可采矿石储量（Minable Ore Reserves）。

3.生产阶段

地质储量是原地被估计的矿化物质的数量，人们可以从这些物质中回收有用组份，并获得经济效益。有时也称为原地储量（In Situ Reserves）或总储量（Global Reserves）。所谓“地质”是因为要强调地质学在确定矿体大小、形状和品位分布中的重要性。美国更常用这个概念。常用储量计算方法有：

—手算几何方法：目前国际常用的传统方法有多边形法、三角形法和剖面法等；

—计算机常规方法：距离倒数加权法，被估计的矿块品位G_B

$$G_B = \sum_{i=1}^{n} G_i \cdot \frac{1}{d_i^t} \Big/ \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{d_i^t}$$

式中 G_i — 在i点的样品品位；

d_i — 在i点的样品到矿块B中心的距离；

t — 影响指数，从1到10变化，可用试错法来选择。一般与矿体连续性有关，连续性好，搜索距离（Search Distances）长，指数取低值；而矿体连续性不好，搜索距离短，指数取高值。

这些方法都没有考虑到样品间的空间关系，虽然距离倒数加权法涉及到矿体的连续性，但也无法定量地确定，而且也无法计算估计误差，预报估计精度。

—地质统计学克里格法首先始于矿产储量的估计，它是一种线性无偏最佳估计量（BLUE）。这种方法具有定量计算每个矿块估计方差，了解估计精度，可以规则划分与矿山生产相适应的块段，钻孔弯曲也不必校正，可以动态规划等优点，在欧美国家的几十种矿种、数百个矿床得到成功地应用。而且为适应矿体变化的特点，发展了很

① 据李裕伟1985年12月在昆明第三届数学地质训练班上的报告。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

多变种，如泛克里格法、矿带克里格法、析取克里格法等。实践证明，通过与传统方法和开采资料对比，具有较高的精度，克服了以往存在的系统误差。

矿产储量分级

储量分级是国家评价矿产资源的前提和计量标准，也是国家借以规划和开发矿业的依据，每个国家都有一个储量分级标准，1979年联合国一个专家组推荐了一个矿产资源的国际分类。以往分类大多是定性的，没有一个定量标准，虽也有的学者提出过一个分级的误差界限，但传统储量计算方法是无法求得这种误差的，充其量是采用不同的计算方法进行比较，求出相对误差，从而推断储量计算的可靠性。另外，每个误差界限有多大的可靠程度，也无法解决。

1969年 G·马特隆教授首次提出矿床估计精度的测定方法，同年 A·马雷夏尔等曾研究过法国铝土矿的储量分类，作者（1981，1986）也曾研究过我国某铝土矿的储量分类。不少地质工作者企图探求出一条用地质统计学方法定量地确定储量分级的途径。

1.局部估计

克里格法可以最优估计每个矿块或盘区的平均值Z_k，并求出相应的估计方差（又称克里格方差）σ_E^2，那么每个矿块或盘区的相对误差就是σ_k/Z_k，已知离散方差，置信区间也可以求得。

每个矿块或盘区的相对误差就可作为储量级别划分的依据。如果储量级别过低，可以通过加密补孔以达到降低估计方差和提高储量级别的目的。

2.总体估计

储量计算包括矿体面积、厚度、品位、体重等参数，储量级别和相对误差大小是与这些参数的相对误差有关。根据误差传递原理，求得一定范围矿体的储量相对误差，以确定储量级别。

可采（回收）储量的局部估计和品位—吨位的关系

地质储量就是原地储量，它是用克里格法估算的。这些储量受到一定经济技术条件约束，将来不可能完全被开采。因而必需根据工业指标选择那些在经济上合算、技术上可能的矿块，这些矿块的储量称为可采储量（Minable Ore Reserves）。传统储量计算方法是按国家下达的工业指标来圈定矿体，反映在图纸上，然后再进行计算。随着国家经济技术条件变化和国际市场的影响，指标变化了又需要重新圈定矿体再计算，如果有几个设计方案进行可行性研究，就相应作几套图纸和说明，很麻烦，也无法实行动态规划。

用地质统计学方法就可以克服上述缺点。矿山企业的投资取决于储量风险程度，因而越来越需要更精确的适应各种情况回收储量的局部估计方法，诸如析取克里格法、对数正态克里格法、多元高斯分布法、指示克里格法、概率克里格法等。

此外，可采储量的总体估计对采矿设计和矿山开采是很有用的，一般引用以下方法：

——吨位—品位关系，就是所选的边界品位与其相应的矿石吨位之间的联系，研究这种关系就可以进行矿山动态规划和经济评价。按矿床不同矿块平均品位递减顺序把吨位逐一叠加起来，就可绘制吨位—品位曲线。1950年美国地质调查局S．G·拉斯基（L asky）首先认为一个矿床的金属吨位与品位通常存在指数关系：

$$T = Ae^{-G}$$

式中 A—指所有品位都包含在内的金属量；

e—自然对数为底；

G—矿床平均品位；

T—矿床吨位。

若$G=0$，则$T=A$，即包含不同品位相对应的所有金属量。品位与吨位之间呈反比关系。

G·马特隆教授（1959）把这一方程称为拉斯基律（Loi de Lasky），并指出该定律具有回避了支撑效应和矿块的几何位置对开采的影响的局限性，所以一般采用地质统计学方法：

——利用离散的矿块克里格值，作出吨位—品位曲线，估计大于某品位的吨位数；

—利用矿块平均品位的分布函数，直接计算大于边界品位的吨位和平均品位；

—利用析取克里格法直接估计每个矿块大于

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

边界品位的百分比及其平均品位，这是用样品值的函数值估计的，是一种非线性方法；

——利用非参数地质统计学及指示克里格法估计，适用于自由分布的数据或者变化比数大的数据。

总之，地质统计学在矿床地质勘探各个阶段都有着极其广泛的用途．当然它并不能替代找矿勘探地质学，但它是对后者的完善和补充。可以深信，随着地质统计学理论的发展和实践的深入，它还会继续不断地对地质勘探理论作出新贡献。

参 考 文 献

[1] 候景儒等：《地质统计学及其在矿产储量计算中的应用》，地质出版社，1981年

[2] 赵鹏大等：物化探电子计算技术，1983，第2期

[3] 赖　氏：地球科学，1984，第4期

[4] 吴龙英：成都地质学院学报，1986，第1期

[5] 陈伯茂：地质与勘探，1986，第2期

[6] 陈伯茂：地质与勘探，1980，第7期

[7] Clark，I：Practical Geostatistics，1979

[8] David，M.；Geostatistical Ore Reserve Estimation，1977

[9] Erickson，A.J.Jr.；Applied Mining Geology，1984

[10] Journel，A.G.，and Huijbregts，Ch.J.：Mining Geostatistics，ACADEMIC PRESS，P. 660

[11] Kuzvart，M.and Bohmer，M.；Prospecting and Exploration of Mineral Deposits，1978，elsevier Scientific publishing Company

[12] Matheron，G.；The Theory of Regionalized Varibles and its Application，1971，Les Cahiers du CMM. Fasc. No. 5，ENSMP，Paris

[13] Peters，W.C.；Expl. and Min. Geology，1978

[14] Rendu，J.M.；Engineering and Mining Jour.，V. 171，，No. 6，p. 114～118

[15] Reudu，J.M.；South African Inst. Mining and Metall，V. 76，No. 9，p. 392～401

[16] Royle，A.G.，et al，Geostatistics，1980

[17] Verly，G.，et al.，Geostatistics For Natural Resources characterization，2nd Nato Advanced Study Institute，1983

[18] Deverly，F.；Sciences de la Terre，1984，No·18，Fevrier

Contribution of Geostatistics to Geo-exploration Theory

Chen Baimao

(*Chengdu Geological College*)

Abstract

Geo-exploration theory has undergone its three developmental stages (traditional, math-statistical and geostatistical) in a very long historical period. Geostatistics, a newly developed applied statistics, is chiefly used to study the spacial regionalized variables, such as those characteristic values obtained from geo-exploration, the elevation of guide bed, the occurrence of a fault, ore grade, the thickness of an orebody, bulk specific gravity of ores, etc., with random function and variogram theories as mathematical tools. Thus it finds a wide application scope in geologycal exploration, especially in following aspects: structure axis determination, resource assessment, target selection, variability study for an orebody, optimal exploratory program selection, exploratory grid determination, precise geological reserve estimation, global estimation of an orebody, sampling error calculation, quantitative classification of mineral reserves, local estimation of minable ore reserves, grade-tonnage study, etc. Geostatistics is a supplement to the geological exploration and makes the prospecting work more perfact. It is believed that along with the development of theory and practce, geostatistics will continuously make new contributions to the geo-exploration theory.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net