

## 地质统计分析在勘探网形研究上的应用

杨 龙

(成都地质学院)

本文采用地质统计分析方法,对矩形和菱形勘探网形进行了对比研究,得出菱形是最佳勘探网形的结论。在勘探工作中,采用菱形网可取得较好的地质效果和经济效益。



勘探方法

有人从勘探工程分布的均匀程度出发,以工程分布均匀系数为标准,对各种网形进行过研究。认为三角形网均匀程度最高,矩形网次之,六边形网较差。由于这一研究偏重于数学,而对地质变量在空间上的变化性及勘探实际考虑不够,所以其结论在勘探中未能引起足够重视。

本文采用地质统计分析法,在对矿体(厚度或品位)空间变化性定量描述的基础上,研究了网度(包括网形)与储量精度(估计方差)的关系。现将该法的原理、研究内容及结论分述如下。

### 基本原理

地质统计分析法是地质统计学中异于条件模拟方法的总称。它是在矿化空间结构定量概括的基础上,对矿化现象进行估计与分析的一种统计方法。该法在估计矿块储量时,不仅能给出矿块储量的最佳(估计方差最小)无偏估计量,而且还能算出衡量精度的估计方差。估计方差具有最小性质,这一最小性是在一组给定条件下与其他估计方法相比而言的。线性地质统计分析的估计方差为:

$$\delta_i^2 = \bar{C}(U, U) - \sum_{j=1}^n \lambda_j \bar{C}(x_j, U)$$

$$- \sum_{j=1}^n \mu_j f_j(x) \quad (1)$$

式中,可看出这组条件有三:一是待估块 $U$ 的大小;二是待估块 $U$ 周围信息点的分布状况和数量(即网形和网距问题);三是反映区域化变量空间变化结构的协方差函数 $C(h)$ (或变异函数)及漂移 $f_i(x)$ 的状况。估计方差 $\delta_i^2$ 即上述三条件的函数。

在一个给定规模的矿床中, $C(h)$ 和 $f_i(x)$ 可视为已知。在 $U$ 给定的条件下, $\delta_i^2$ 仅为网度的函数,故(1)式为块段 $U$ 的储量估计精度 $\delta_i^2$ 与网度之间的一个严格数学关系式。该式与信息点位置有关,与信息点的值无关。因此,只要知道协方差函数 $C(h)$ [或半变异函数 $r(h)$ ]和漂移 $f_i(x)$ 的形式,就可在少布或不布工程的情况下,决定出最佳网形。

考虑到(1)式中平均协方差 $\bar{C}(U, U)$ 和 $\bar{C}(x_j, U)$ 与协方差函数 $C(h)$ 有关,系数 $\lambda_j$ 和 $\mu_j$ (为克立格方程组的解)间接与 $C(h)$ 有关,故 $C(h)$ 与 $r(h)$ 有如下关系式:

$$C(h) = C(0) - r(h)$$

其中, $C(0)$ 为方差(对具体矿体为一常量),故 $C(h)$ 可通过 $r(h)$ 得到。估计方差—网度之间的关系是建立在对地质变量在矿体变化性的定量描述之上的。

$$\text{半变异函数 } r(h) = E \{ [Z(x) -$$

$Z(x+h)]^2)/2$  对矿体任意两个相距矢量  $h$  的随机变量间的不相关程度的定量表征, 是通过其模型参数的确定实现的。半变异函数  $r(h)$  的理论模型有多种, 就矿体地质变量而言, 多用球状模型。即:

$$r(h) = \begin{cases} 0 & h=0 \\ C_0+C[1.5\frac{h}{a}-0.5(\frac{h}{a})^3] & 0 < h < a \\ C_0+C & h > a \end{cases}$$

其中,  $a$  为变程, 表示区域化变量平均具有的相关性范围;  $C$  为基台, 表示某一区域化现象所具有的最大变异性, 它与  $a$  表示一种区域化现象的空间结构;  $C_0$  为块金效应, 它是含金矿床中的特定术语, 在一般矿床中, 表示变程小于观测尺度的所有微型结构(包括随机误差)的全部变异性。在变异函数上, 块金效应表现为原点处的一种不连续现象。

区域化变量在各方向变化快慢和相关范围不一致的现象称为各向异性, 各向异性也可通过异向性模型来定量刻画。其中, 若基台相同, 而相关范围呈椭圆的各向异性, 称为几何异向性。这种异向性可用基台  $C$ 、长变程  $a$ 、异性比  $k$  (椭

圆长短半轴之比) 和长轴与  $x$  轴的夹角  $\theta$  等参数定量来刻画。

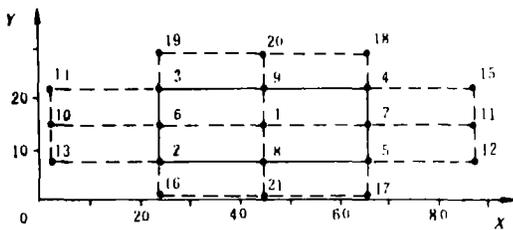
变异函数及其参数对不同区域化变量在空间上变化性的定量刻画, 为采用地质统计分析研究最佳网形奠定了基础。

### 勘探网形的研究

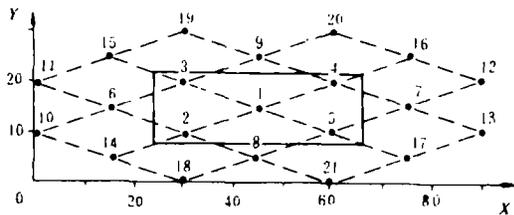
勘探网形有矩形和菱形两大类, 目前多采用矩形勘探方案, 这与传统计算储量方法有关。使用克立格法估计储量时, 对于不同异性比模型采用哪一类网形效果最佳? 笔者以估计方差为准标, 在被估块段和工程控制面积(二维)一定的条件下, 选择与网形关系密切的不同异性比, 对矩形和菱形网进行对比, 具体条件为:

1. 网形规格 在矩形网中以长短边比, 菱形网中以长短对角线比来确定网形规格。选择有 1: 1、2: 1、3: 1、4: 1 四种规格。每种规格网形有 21 个信息点, 其相邻 4 个信息点组成的矩形或菱形的面积都为  $150\text{m}^2$  (见图)。

2. 被估块段 采用便于计算的矩形被估块段, 规格也取 1: 1、2: 1、3: 1、4: 1 相应 4 种, 其面积有  $150\text{m}^2$  和  $600\text{m}^2$  两种。



矩形网 (3: 1)



菱形网 (3: 1)

矩形、菱形网估计方差对照表

表 1

被估块规格	模型异性比	矩 形				菱 形			
		1: 1	2: 1	3: 1	4: 1	1: 1	2: 1	3: 1	4: 1
1: 1	1	0.0251	0.0328	0.0426	0.0497	0.0180	0.0228	0.0279	0.0338
2: 1	2	0.0547	0.0375	0.0453	0.0552	0.0340	0.0269	0.0294	0.0340
3: 1	3	0.0785	0.0598	0.0514	0.0559	0.0580	0.0367	0.0331	0.0350
4: 1	4	0.0769	0.0732	0.0635	0.0600	0.0740	0.0505	0.0397	0.0368

被估块段面积为  $600\text{m}^2$ 。

矩形、菱形网估计方差对照表

表 2

被估块规格	异性比模型	矩 形				菱 形			
		1 : 1	2 : 1	3 : 1	4 : 1	1 : 1	2 : 1	3 : 1	4 : 1
1 : 1	1	0.1006	0.1311	0.1704	0.1987	0.0721	0.0911	0.1118	0.1352
2 : 1	2	0.2190	0.1501	0.1811	0.2206	0.1362	0.1075	0.1175	0.1362
3 : 1	3	0.3033	0.2359	0.2057	0.2235	0.2320	0.1469	0.1322	0.1400
4 : 1	4	0.3077	0.2927	0.2542	0.2401	0.2960	0.2019	0.1588	0.1474
3 : 1	1	0.0839	0.0926	0.1562	0.2297	0.0783	0.0738	0.0720	0.0863
	2	0.1958	0.1439	0.1676	0.2207	0.1417	0.1159	0.1044	0.1136
	3	0.3033	0.2359	0.2057	0.2235	0.2320	0.1469	0.1322	0.1400
	4	0.3380	0.2995	0.2459	0.2319	0.3008	0.1741	0.1450	0.1576

被估块段面积为150 m<sup>2</sup>。

**3 变异函数** 变异函数  $r(h)$  以球状模型示出的几何异向性模型,模型参数中的基台  $C = 1$ , 块金  $C_0 = 0$ , 长变程为30m, 异性比  $k$  取为1、2、3、4 四种。

在上述条件下, 计算被估块段为600m<sup>2</sup>和150m<sup>2</sup>的不同规格的估计方差, 见表1和表2。从表1可看出, 若被估块的规格按模型异性比来确定, 则矩形网与菱形网也以异性比一致的网形估计方差为最小, 且矩形与菱形相比以菱形为最佳。此结论对被估块段为600m<sup>2</sup>和150m<sup>2</sup>皆成立, 见表2。

实际上, 被估块段规格的选择因受采矿方式和开采要求的限制, 很难完全与异性比一致, 故又选择了3:1的规格进行试算(表2)。结果表明, 上述结论仍能成立, 尤其是菱形网, 只要被估块段的规格与网形一致, 则对模型的各种异性比的估计方差都较小。

#### 菱形网的最佳性

菱形网是用地质统计分析法估计储量时, 以估计方差为标准得出的一种网形, 在精度给定下, 该网具有最佳经济效益。菱形网是由三角形网组成, 三角形网又是从工程分布均匀程度来评价的

一种与储量估计方法无关的最佳网形。在同样工程量下, 它是具有最佳地质效果的网形。它不仅在工程分布度上与储量估计方法无关, 而且从矿层空间变化性定量刻画的基础上得到的估计方差也最小。若根据矿体空间变化的特点来选择不同的储量计算方法, 菱形网对其该法估计方差不一定最佳, 但对该估计方法而言是最小的。故菱形网适用于多种估计方法

采用菱形网勘探时, 其网的长、短对角线方向应与长、短变程方向一致; 长、短对角线之比应与异性比  $k$  相同。这样布置勘探工程, 不仅出于最佳要求, 而且还有利于了解矿体变化及边界。

地质统计分析法建立在对矿体空间变化随机性和结构性的定量描述之上, 是通过寻找储量精度与网度间的函数关系来进行定量研究的, 因此, 可显示出该方法的严谨性、合理性和优越性。

笔者曾在“滇池西南部磷矿储量计算及勘探网度研究”专题中, 就昆阳磷矿用方向网度与菱形网度在一定级别下从工程数和经济效益上作过对比(表3)。采区规模为640×1200m<sup>2</sup>, 若采用菱形网计算, 开发勘探费用可减少一半。

参加本专题研究的有王柏钧、杨龙、徐人桢、周晓茄、王方戎和常玖玖。

昆阳磷矿原网度比较表

表 3

储量级别		开采 (A <sub>1</sub> )			A 级			B 级		
网	网形	原方形	现菱形		原方形	现菱形		原方形	现菱形	
度	间距	50 × 50	60 × 150	80 × 200	100 × 100	120 × 300	160 × 400	200 × 200	240 × 600	320 × 800
工程个数		290	179	111	91	50	32	24	13	10
工程增加数		208	129	79	67	37	24	16	8	5
加密网度	节省工程数		79	129		20	43		8	11
	节省工程量 (米)		$\frac{79+129}{2} \times 6 = 624$			$\frac{30+43}{2} \times 60 = 2190$			$\frac{8+11}{2} \times 60 = 570$	

### A Geostatistical Analysis on Configurations of Prospecting Network

(Chengdu College of Geology)

Yang Long

#### Abstract

An investigation of configurations (including rectangular and rhombic grids) of prospecting networks has been made by geostatistical analysis. It comes to the conclusion that the rhombic prospecting network is an optimal one. Mineral exploration with rhombic network will achieve more better geological result and economic advantage.

### 走马坪金矿的地质特征

—— 赵子朝

走马坪石英脉型金矿位于湖北省鹤峰县境内。矿区位于雪峰古陆北侧、黄陵背斜南缘，南接古文背斜，北与八字背斜毗连。区内出露地层有下寒武统、震旦系及元古界板溪群。区内无火成岩出露。含金石英脉产于震旦系陡山沱组底部，层间压扭性构造控制着含金石英脉的分布。由于多次构造活动的影响，产生雁行状排列的次级羽状裂隙和网状节理。含金石英脉与围岩接触界线清楚，蚀变现象不明显。

矿区内的石英脉呈脉状、串珠状、囊状及不规则状透镜体产出。石英脉的产状有四组：①走向北西75~80°，倾角37~58°；②走向近东西，倾角40°；③走向近南北，倾角63~73°；④走向北东20~37°，倾角19~36°。前三组石英脉含金，金品位0.01~84g/t，已构成工业矿段。石英脉的结构较复杂，有粒状结构、碎裂结构、碎斑结构和环状结构等；具晶洞构造、皮壳状构造和块状构造等。自然金沿碎裂处充填于细小裂隙内或石英颗粒之间，部分充填于石英晶洞中。

含金石英脉以低温矿物和金属硫化物组合为特征。除自然金外，还有辰砂、黄铁矿、雄黄、雌黄、方铅矿、

闪锌矿和铁的氧化物等。

自然金呈明金产出，很少呈次显微金出现。自然金以金黄色为主，浅金黄色次之，色调均匀，光泽较强。能谱分析结果，含Au 90.65~93.57%，Ag 6.43~9.35%。自然金呈树枝状和粒状，部分金粒呈菱形十二面体、八面体。在一些结晶多面体上，有些清晰的厚多角形螺旋生长层和束合多角螺旋生长层两种自然晶体的生长现象（据王文魁等，1985）。金的粒径为6~9~0.02毫米，一般为0.25~0.3毫米。

石英脉包裹体均一法测温结果表明，石英脉的生成温度为250~340℃；含金石英脉的生成温度为154~260℃。

根据室内外资料的研究结果，笔者认为，本区金矿床属中—低温渗流热卤水充填石英脉型金矿床。含金和其他少量金属元素的二氧化硅溶液来自上覆地层，与岩浆源无关。

因此，沿含锰白云岩的走向，在古气候没有急剧变化的条件下形成的沉积物中，以及断裂破碎带中找矿，希望较大。