

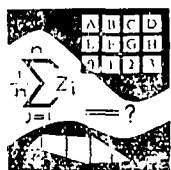
地质体变化性质与变化程度 的地质统计学研究

吴 龙 英

(成都地质学院)

用地质统计学方法研究地质体的变化性质和变化程度, 即应用变异函数的球状数学模型 c_0 、 c 、 a 和地质体数据的平均值及延伸的长度等参数, 组合成变化性质系数 $Q = c_0 / (c_0 + c)$ 和变化程度系数 $\Phi = (\sqrt{c_0 + c/m}) / \sqrt{(\sqrt{c_0 + c/m})^2 + (a/L)^2}$ 来表征地质体的变化性质和变化程度。并依据 Q 值把地质变量变化性质划分 4 类, 依据 Φ 值把地质变量变化程度划分 5 类。

关键词: 变化性质; 变化程度; 随机函数; 变异函数; 球状模型; 变化性质系数; 变化程度系数



数学地质

地质体的变化性质是指地质变量在地质体不同位置上相互间的联系及其变化规律。在地质体的不同位置上, 地质变量之间存在着数值上的差异, 因而导致地质变量之间的联系及变化规律不同, 显示的地质体变化性质也不同。地质体变化性质是指地质变量是呈随机变化 (不规则变化)、坐标性变化 (规则变化), 还是两种性质重叠的变化。

地质体的变化程度是表征在地质体内地质变量变化复杂性的标志, 是量的概念。它是指地质变量的变化幅度和变化速度的综合, 如仅有表征变化幅度, 无表征变化速度尚不能表明地质变量的变化复杂程度。例如均方差和变化系数只反映地质变量的变化幅度和相对变化幅度, 未反映出变化速度, 故均方差和变化系数不能表明地质体的变化复杂程度; 相反, 只反映变化速度而没有反映

变化幅度, 也不能说明其变化的复杂程度。

作为地质体的矿体, 其变化性质和变化程度是勘探工作的地质基础, 直接影响矿床勘探的难易程度, 也是部署勘探工程及选择勘探手段的基本依据, 在很大程度上决定矿床勘探的地质效果和经济效益。因此, 在矿床勘探时, 地质研究的重要课题是研究地质变量的变化性质和变化程度及其控制变化性质和变化程度的因素。

问题的提出

通常的均方差和变化系数是建立在地质变量之间, 相互独立, 与变量空间位置无关的随机变量概念的基础上。按照这种概念计算地质变量的均方差和变化系数, 只能表明地质变量对其平均值偏离的平均幅度 (均方差) 和相对的偏离平均幅度 (变化系数), 而不能说明地质变量的变化性质和变化程度。例如有两个厚度变化性质和变化程度完全不同的矿体 (图 1)。可以看到, A 矿体

属无规律的随机变化,变化复杂; B矿体是规则的坐标性变化,变化简单。但根据各工程见矿厚度值计算的平均值、均方差和变化系数,两个矿体完全相同(表1)。如果

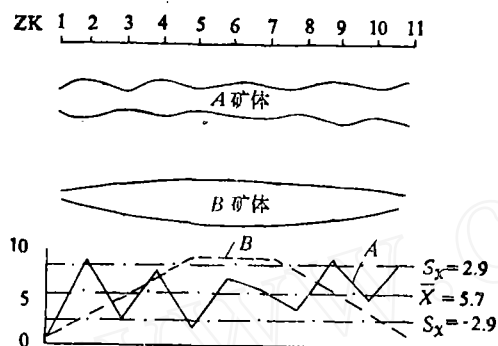


图1 两个厚度变化完全不同的矿体

$\bar{X}$ —平均值, S_x —均方差

工程见矿厚度表 表1

工程号	矿体厚度(m)		$X - \bar{X}$		$(X - \bar{X})^2$	
	A矿体	B矿体	A矿体	B矿体	A矿体	B矿体
ZK1	1	1	-4.7	-4.7	22.09	22.09
ZK2	9	3	+3.3	-2.7	10.89	7.29
ZK3	3	5	-2.7	-0.7	7.29	0.49
ZK4	8	7	+2.3	+1.3	5.27	1.69
ZK5	2	9	-3.7	+3.3	13.69	10.89
ZK6	7	9	+1.3	+3.3	1.69	10.89
ZK7	6	9	+0.3	+3.3	0.09	10.89
ZK8	4	8	-1.7	+2.3	2.89	5.29
ZK9	9	6	+3.3	+0.3	10.89	0.09
ZK10	5	4	-0.7	-1.7	0.49	2.89
ZK11	9	2	+3.3	-3.7	10.89	13.69

$\bar{X} = 5.70\text{m}, S_x = \pm 2.94 (A = B), V = 52.90\% (A = B)$

仅根据均方差和变化系数值确定工程密度,那么勘探这两个矿体所需的工程数应相同,而实际所用的勘探工程数却不同。

又如两个变化性质和变化程度相同厚度的矿体(图2),但其平均值、均方差和变化系数不相同(表2)。

上面两个例子说明,均方差和变化系数均不能说明矿体的变化性质和变化程度。其原因在于地质变量不是变量之间互相独立和

变量空间位置无关的随机变量,而是一种具有数值的空间随机函数,它既有随机变化,又有结构变化(坐标性变化)。

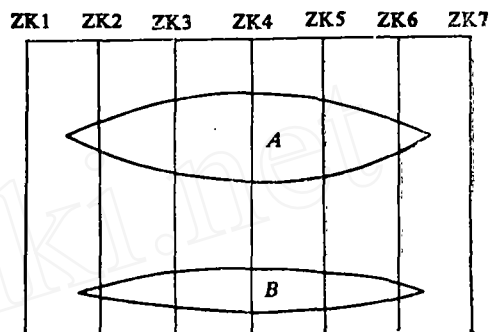


图2 两个厚度变化相同的矿体

工程见矿厚度表 表2

工程号	矿体厚度(m)		$X - \bar{X}$		$(X - \bar{X})^2$	
	A矿体	B矿体	A矿体	B矿体	A矿体	B矿体
ZK1	6	2	-5.6	-4	31.36	16
ZK2	14	6	2.4	0	5.76	0
ZK3	18	14	6.4	8	40.96	64
ZK4	14	6	2.4	0	5.76	0
ZK5	6	2	-5.6	-4	31.36	16
累计	58	30				

平均值 $\bar{X}_A = 11.60\text{m}$, 均方差 $S_A = \pm 5.37$,
 $\bar{X}_B = 6.00\text{m}$, $S_B = \pm 4.90$,
 变化系数 $V_A = 46.26\%$, $V_B = 81.65\%$ 。

地质变量是既有随机变化又有趋势变化(结构变化)成分叠加的随机函数。因此,每个观测值(如1个点上的品位值)是趋势变化成分值和随机变化值之和。为了使地质变量只有随机变化成分值,使其符合均方差变化系数的理论基础,设法用滑动平均法或趋势分析法滤去趋势变化成分,即用滑动平均法或趋势分析法计算每个观测值的趋势变化值 y' (图3),随机变化值 y'' 等于观测值 y 减去趋势变化值 y' 。用此随机变化值 y'' 计算的均方差和变化系数(校正后的变化系数),以表明地质体的变化性质和变化程度。实际上,它也仅能说明地质变量围绕趋势值

变化的平均幅度与均方差、变化系数一样存在相类似的问题，同时也没有反映出趋势值的变化复杂性。图3和图4是两个矿体品位变

化曲线图，它们的空间变化不相同，但具有相同的平均值、均方差和变化系数。若用滑动平均法计算后的趋势变化也是不相同的，图3

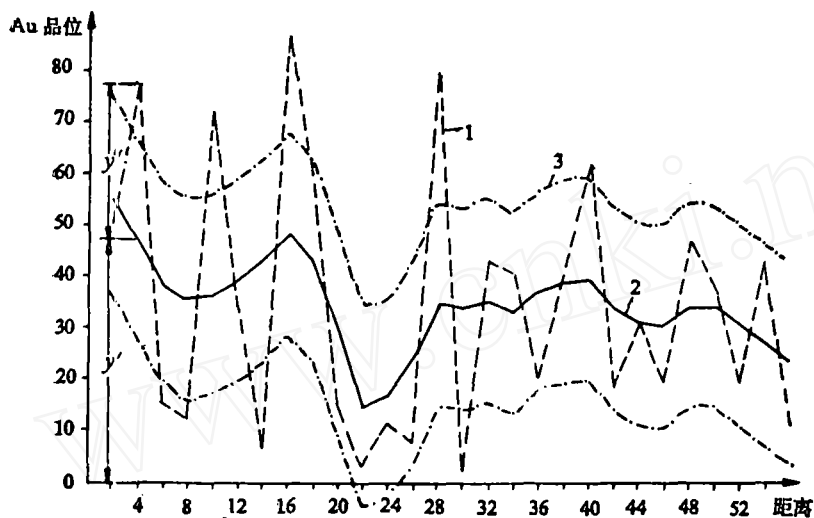


图 3 用滑动平均法经二次滑动平均后金品位趋势变化曲线

1—根据样品原始金品位编制的自然分布曲线；2—经二次滑动平均后金品位趋势变化曲线； y' —趋势变化值； y'' —随机变化值（剩余值）；3—金品位值围绕趋势变化值偏离的平均幅度范围

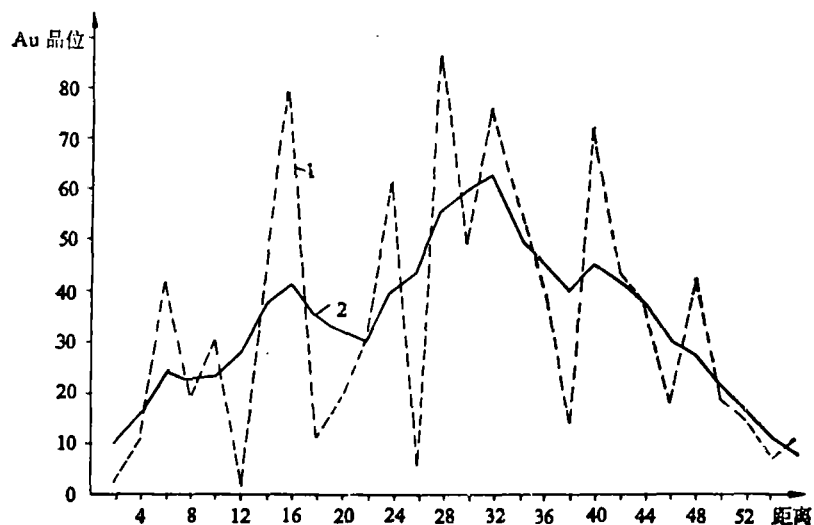


图 4 用滑动平均法经二次滑动平均后金品位趋势变化曲线

1—根据样品原始金品位编制的自然分布曲线；2—经二次滑动平均后金品位趋势变化曲线

趋势变化曲线变化复杂，而图4趋势变化曲线较简单。用滑动平均法滤去趋势变化值得到随机变化值，用其计算的均方差和变化系数两矿相似。图3中矿体为60.2%；图4中

矿体为62.5%。由此可见，用随机变化值计算的均方差和变化系数不能反映矿体的变化性质和变化程度，更不能反映趋势变化值的变化性质和变化程度。因此，在研究地质体

的变化性质和变化程度时必须用观测值,而不能仅用其中的1个部分值(趋势变化值或随机变化值),否则其结果不能反映矿体的变化性质和变化程度。

地质体变化性质和变化程度

按照地质统计学理论,地质变量是一种在一定空间内具有数值的实函数。该函数是既有随机变化又有结构变化的复杂随机函数。因此,在研究地质变量时,必须考虑各观测值的空间位置或相对空间位置。应用地质统计学研究地质体的变化性质和变化程度时,主要是利用变异函数的基本参数来研究和反映地质变量的变化性质和变化程度。最常用的变异函数的理论数学模型是球状模型,即:

$$\gamma(h) = c_0 + c \left[1.5 \frac{h}{a} - 0.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad h < a$$

$$\gamma(h) = c_0 + c \quad h \geq a$$

上式模型由3个参数来决定(图5), c_0 称块金常数,代表地质变量的随机变化部分。 c 称基台,代表地质变量结构性变化的部分。有人把 $c_0 + c$ 称为总基台,它与数据方差值之间相差一极小值,故用数据方差值代替。 a 称变程,它是影响范围,在 a 的范围内才有结构变化和随机变化叠加,超出 a 的范围,地质变量均属随机变化。根据以上参数的组合来说明地质体的变化性质和变化程度。

1. 地质体的变化性质

地质体的变化性质是指地质变量在地质体内是属于结构变化,还是属于随机变化。因此,可用变化性质系数 $Q = c_0 / (c_0 + c)$ 的值表征地质变量的变化性质。 Q 值是在0~1之间变化,当 Q 值趋向0时,则地质变量属于结构性变化;当 Q 值趋向1时,则地质变

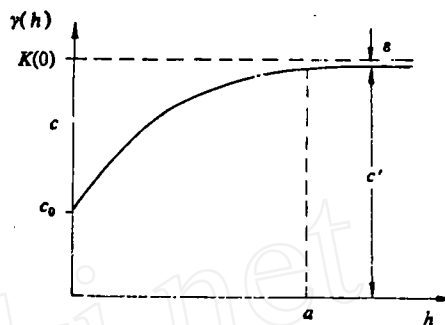


图5 球状模型变异曲线

$K(0)$ —方差; c_0 —块金; c —基台; c' —总基台; a —变程; ε —极小值; $\gamma(h)$ —变异函数; h —滞后

量属于随机变化。按照 Q 值的大小将地质体地质变量的变化性质划分4类(表3)。

地质体变化性质分类表 表3

类别	变化性质	Q 值
1	坐标性变化	0~0.2
2	有明显的坐标性变化	0.2~0.5
3	有明显的随机性变化	0.5~0.8
4	随机性变化	0.8~1

例如某铝土矿的 Al_2O_3 含量呈各向同性的变化,变异曲线见图6。用球状数学模型进行模拟得参数为: $c_0 = 115(\%)^2$, $c = 141.8(\%)^2$, $a = 333.5m$ 。 $Q = c_0 / (c_0 + c) = 115 \div (115 + 141.8) = 0.4478$ 。它属于有明显的坐标性变化。本矿的厚度变化呈各向异性,在倾向上变异曲线见图7,其参数为: $c_0 = 1.212(\%)^2$, $c = 0.49692(\%)^2$, $a = 385m$ 。 $Q = 1.212 \div (1.212 + 0.49692) = 0.7092$ 。在走向上的变异曲线见图8,其参数为: $c_0 = 1.515(\%)^2$, $c = 0.4848(\%)^2$, $a = 360m$ 。 $Q = 1.515 \div (1.515 + 0.4848) = 0.7576$,它们都属有明显的随机性变化。而且走向比倾向随机性变化更明显。

铝土矿的厚度完全受古风壳喀斯特地形控制,变化规律不明显,比较复杂。又因它

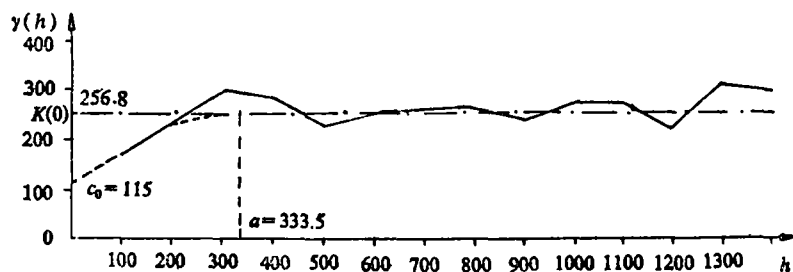


图 6 某铝土矿 Al_2O_3 含量变异曲线

拟合数学模型参数: $a=333.5\text{m}$; $c=141.8(\%)^2$; $c_0=115(\%)^2$

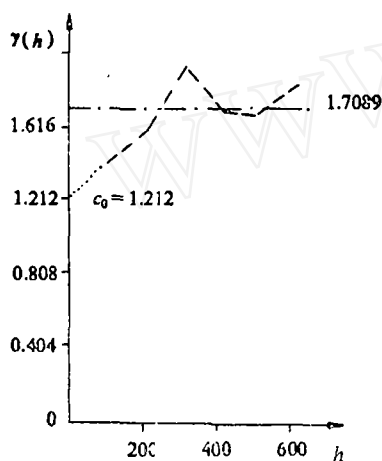


图 7 矿体倾向厚度变异曲线

$c_0=1.212(\%)^2$; $c=0.4969(\%)^2$; $a=385\text{m}$

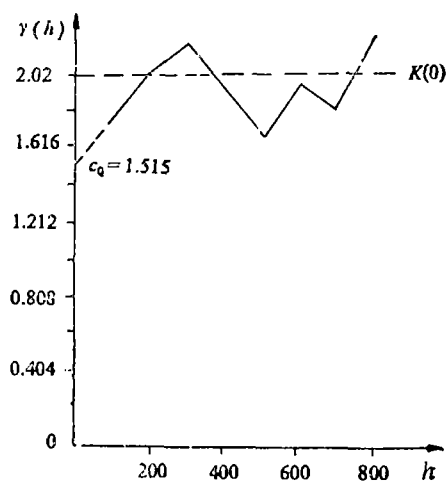


图 8 矿体走向厚度变异曲线

$c_0=1.515(\%)^2$; $c=0.4848(\%)^2$; $a=360\text{m}$

是沉积矿床, Al_2O_3 空间分布有规律, 所以具有明显坐标性变化。因此, 不能笼统地说矿石品位均属不规则随机变化, 厚度属坐标性变化。

2. 地质体地质变量的变化程度

地质变量的变化程度是反映地质体变化的复杂程度, 它是变化幅度和变化速度的综合。为了得到无单位量纲, 故采用相对变化幅度和相对变化速度综合成无单位的比值, 称此为变化程度系数 Φ , 用此值表征地质变量的变化复杂程度。

为使 Φ 值在 $0 \sim 1$ 之间变化, 采用三角函数 $\Phi = \sin \alpha$ 来表示 (图 9)。为有个统一

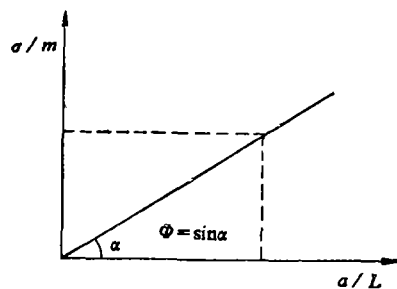


图 9 变化程度系数

σ/m —相对幅度; a/L —相对速度;

σ 均方差= $\sqrt{c_0+c}$; m —平均值; a —变程;

L —矿体延伸最小方向长度一半

标准进行比较, 故采用纵坐标为相对变化幅度, 用 σ/m 表示, 式中 σ 是地质数据的均方差, 相当于球状数学模型的总基台值 ($c_0 + c$) 再开方, 由于是相对变化幅度, 故不能

用 σ^2/m^2 。采用横坐标为相对变化速度，用 a/L 表示，式中 a 是球状模型中的变程 a ， L 是地质体延伸最小方向上长度的一半。例如面型矿体，一般矿体的倾向延伸比走向长度要小，所以 L 是倾向矿体长度的一半；当矿体走向长度小于倾向长度时，则 L 是走向方向上矿体长度的一半。

变化程度系数 Φ ：

$$\Phi = \frac{\sigma/m}{\sqrt{(\sigma/m)^2 + (a/L)^2}}$$

$$= \frac{\sqrt{c_0 + c/m}}{\sqrt{(\sqrt{c_0 + c/m})^2 + (a/L)^2}}$$

此值在0~1之间变化，当 Φ 值趋向于0时地质变量变化程度低，即地质体变化简单；相反，当 Φ 趋于1时，地质变量变化程度高，即地质体变化复杂。按照变化程度系数 Φ 值的大小把地质体变化复杂程度划分5类，见表4。

现举某铝土矿为例：

1. 某铝土矿厚度变化呈各向异性，沿矿体走向(图8)的球状数学模型参数为 $c_0 = 1.5352(\%)^2$ ， $c = 0.4848(\%)^2$ ， $a = 360\text{m}$ 。沿倾向(图7)的球状数学模型参数为 $c_0 = 1.212(\%)^2$ ， $c = 0.4969(\%)^2$ ， $a = 385\text{m}$ 。矿体的平均厚度为2.1m，矿体走向长为3200m，倾向长度为1200m， L 取600m。

沿走向厚度变化程度系数 Φ 为：

$$\Phi = (\sqrt{2.02 \div 2.1}) \div [\sqrt{(\sqrt{2.02 \div 2.1})^2 + (360 \div 600)^2}]$$

$$= 0.7483$$

沿倾向厚度变化程度系数 Φ 为：

$$\Phi = (\sqrt{1.70892 \div 2.1}) \div [\sqrt{(\sqrt{1.70892 \div 2.1})^2 + (385 \div 600)^2}]$$

$$= 0.6963$$

以走向和倾向相比较，走向比倾向上厚度变化要复杂，但都属中等变化程度。

地质体变化程度分类表 表4

类别	地质体变化程度	Φ 值
1	简单	0~0.3
2	较简单	0.3~0.6
3	中等	0.6~0.8
4	较复杂	0.8~0.9
5	极复杂	>0.9

2. 某铝土矿 Al_2O_3 含量变化呈各向同性(图6)，其球状数学模型参数为： $c_0 = 115(\%)^2$ ， $c = 141.8(\%)^2$ ， $a = 333.5\text{m}$ ， $L = 600\text{m}$ ，平均含量为52.8675(%)。 Al_2O_3 含量变化程度系数为：

$$\Phi = (\sqrt{256.8 \div 52.8675}) \div [\sqrt{(\sqrt{256.8 \div 52.8675})^2 + (333.5 \div 600)^2}]$$

$$= 0.4788$$

可见 Al_2O_3 含量变化程度较简单。

参考文献

- [1] David, M., Geostatistical are reseive estimation. 1977,
- [2] Dowd, P. A. and David, M., Sonsivity of mine production schedulos to estimation methods, Advanced geostatistics in the mining in dustry, D. Reidel publishing company, Dordrecht Holland Boston-USA. 1975,
- [3] 吴龙英, 成都地质学院学报, 1982年, 第1期
- [4] 吴龙英, 地质与勘探, 1988年, 第9期.

A Geostatistical Study on Changes in Nature and Extent for a Geological Body

Wu Longying

This paper deals mainly with the changes in nature and extent for a geological body in terms of geostatistics. By a combination of parameters of a variable function spherical model with average values of geological data for the geological body, such as the length extent, etc., we can have two coefficients: Q and ϕ , which characterize the changes in nature and extent for the geological body and classify these two changes into four and five classes respectively.