

地质变量的多级分解及其应用

宋暖和¹, 潘志刚¹, 毛先成²

(1. 湖南省煤田地质局第六勘探队, 湘潭 411000; 2. 中南大学地学与环境工程学院, 长沙 410083)

[摘要]地质变量是一种总体变化、多级局部变化和随机变化相叠加的综合性变量。研究表明, 多级变化的这种叠加在半变异函数模型上有明显的反映(漂移效应和套合结构), 即多级变化的分解与各级变化所对应之变异特征的分离应具有同步性。据此笔者指出, 趋势-剩余分析或滑动平均与结构分析相结合的方法能有效地筛分地质变量中的多级变化。一个筛分断层构造的应用案例为此提供了例证。

[关键词]地质变量 筛分 趋势分析 滑动平均 半变异函数 控矿断裂

[中图分类号]P628 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2005)03-0071-04

在地质科研和生产过程中, 人们需对地质体或地质现象进行观测, 并以变量来表示观测所得结果。这种用来表示地质观测结果的变量即称为地质变量。显然, 地质变量是一个与空间位置有关的量。同时, 地质作用的复杂性, 决定了地质变量在空间上表现出明显的总体变化、局部变化和随机变化的相互叠加特征^[1]。为了研究地质产物的形成和分布规律(如矿化局部化、原生异常分布等), 我们需对这三种相互叠加的变化进行筛分。最常用的方法是趋势-剩余分析^[2]和滑动平均^[3]。然而, 在筛分过程中, 趋势方程次数或滑动平均“窗口”的确定常是人为的, 而未考虑到各种变化的客观叠加特征, 从而导致筛分结果的人为性。本文在充分考虑各种变化叠加的客观特征基础上, 提出一种趋势-剩余分析或滑动平均与结构分析^[4]相结合的方法, 从而对观测结果(地质变量)中的各种变化进行有效的筛分。

1 基本原理

设与空间位置有关的地质变量 $z(x)$ 是由总体变化、二级局部变化和随机变化相叠加而成的。这时便有:

$$z(x) = T(x) + R_1(x) + R_2(x) + \varepsilon(x) \quad (1)$$

式中, X 为三维空间中的点(Xu, Xv, Xw); $Z(x)$ 为地质变量; $T(x)$ 为总体变化(或趋势变化); R_1

(x), $R_2(x)$ 分别为 I 级、II 级局部变化; $\varepsilon(x)$ 为随机变化。

按 G Matheron 的观点, $z(x)$ 又可称为区域化变量^[4], 其表现出的空间变异性具有结构性和随机性之双重性质。这种空间变异性, 可借助于结构分析的方法来研究:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2}E\{[z(x+h) - z(x)]^2\} \quad (2)$$

式中, $\gamma(h)$ 为半变异函数, 表征 $z(x)$ 的空间变异特征; E 为数学期望; h 为滞后。

据式(1)知, $z(x)$ 为多级变化的混合叠加, 即它是由不同尺度的多种变化造成的, 则 $z(X)$ 的半变异函数模型必为套合结构^[4]。由式(1)和式(2)可推得该套合结构的表示为:

$$\begin{aligned} \gamma_z(h) &= \frac{1}{2}E\{[z(x+h) - z(x)]^2\} \quad (3) \\ &= \frac{1}{2}E\{[T(x+h) + R_1(x+h) + R_2(x+h) \\ &\quad + \varepsilon(x+h) - T(x) - R_1(x) - R_2(x) - \varepsilon(x)]^2\} \\ &= \frac{1}{2}E\{[T_2(x+h) - T_2(x)]^2\} \\ &\quad + \frac{1}{2}E\{[R_1(x+h) - R_1(x)]^2\} \\ &\quad + \frac{1}{2}E\{[R_2(x+h) - R_2(x)]^2\} \end{aligned}$$

[收稿日期]2005-01-05; **[修订日期]**2005-03-17; **[责任编辑]**余大良。

[第一作者简介]宋暖和(1962年-), 男, 1983年毕业于中南矿冶学院, 获学士学位, 在读硕士生, 高级工程师, 现主要从事煤田地质与地学信息系统的研究工作。

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{2}E\{\left[\varepsilon(x+h) - \varepsilon(x)\right]^2\} \\
& + E\{[T(x+h) - T(x)][R_1(x+h) - R_1(x)]\} \\
& + E\{[T(x+h) - T(x)][R_2(x+h) - R_2(x)]\} \\
& + E\{[T(x+h) - T(x)][\varepsilon(x+h) - \varepsilon(x)]\} \\
& + E\{[R_1(x+h) - R_1(x)][R_2(x+h) - R_2(x)]\} \\
& + E\{[R_1(x+h) - R_1(x)][\varepsilon(x+h) - \varepsilon(x)]\} \\
& + E\{[R_2(x+h) - R_2(x)][\varepsilon(x+h) - \varepsilon(x)]\} \\
& = \gamma_T(h) + \gamma_{R_1}(h) + \gamma_{R_2}(h) + \gamma_\varepsilon(h) + 2\gamma_{TR_1}(h) \\
& + 2\gamma_{TR_2}(h) + 2\gamma_{T\varepsilon}(h) + 2\gamma_{R_1R_2}(h) + 2\gamma_{R_1\varepsilon}(h) \\
& + 2\gamma_{R_2\varepsilon}(h)
\end{aligned}$$

式中, $\gamma_T, \gamma_{R_1}, \gamma_{R_2}, \gamma_\varepsilon$ 分别为变量 $T(x), R_1(x), R_2(x), \varepsilon(x)$ 的半变异函数 $\gamma_{TR_1}, \dots, \gamma_{R_2\varepsilon}$ 均为变量 $T(x), R_1(x), R_2(x), \varepsilon(x)$ 的两两交叉半变异函数。

由于 $T(x), R_1(x), R_2(x), \varepsilon(x)$ 为不同尺度或级别引起的变异, 所以它们彼此间应是不相关的, 即各交叉半变异函数应都为零。这时, 式(3)成为:

$$\gamma_z(h) = \gamma_T(h) + \gamma_{R_1}(h) + \gamma_{R_2}(h) + \gamma_\varepsilon(h) \quad (4)$$

由该式知, $z(x)$ 的半变函数模型为一个四级套合结构, 且每一级变化均对应地反映在其半变异函数上。因此, 地质变量的多级叠加性在半变异函数模型上具有明显的反映, 表现为 $z(x)$ 的半变异函数为各级变化所对应的半变异函数之和。

更一般地, 若令 $z(x)$ 为:

$$z(x) = T(x) + R_1(x) + R_2 + \dots + R_m(x) + \varepsilon(x) \quad (5)$$

式中 $T(x)$ 为总体变化, $R_1(x), R_2(x), \dots, R_m(x)$ 为 m 级局部变化, $\varepsilon(x)$ 为随机变化。则类似地可推得:

$$\gamma_z(h) = \gamma_T(h) + \gamma_{R_1}(h) + \gamma_{R_2}(h) + \dots + \gamma_{R_m}(h) + \gamma_\varepsilon(h) \quad (6)$$

由式(1)或式(5)知, 地质变量中各级变化的筛分可用趋势—剩余分析或滑动平均方法。但趋势方程的次数或滑动平均窗口需要预先确定。若这种确定是主观的, 则必将造成筛分结果的不客观性。又因各级变化的空间变异还反映在半变异函数模型上(式4或式6), 所以用趋势—剩余分析或滑动平均筛分出的各级变化的空间变异特征与半变异函数模型中所反映的各级变异特征相一致, 即地质变量 $z(x)$ 的筛分应同时使套合模型(4)或(6)中的各级变异由低到高地逐步被分离。我们称这样的筛分法为变异分离同步筛分法。

2 方法的实施

综上所述, 为客观地筛分地质变量中的多级变化, 我们必须使多级变化的分解与各级变化所对应之变异特征的分离同步进行。显然, 这样一个筛分过程是一个趋势—剩余分析或滑动平均与结构分析相互依赖的逐步迭代过程。该过程可用图1来表示。

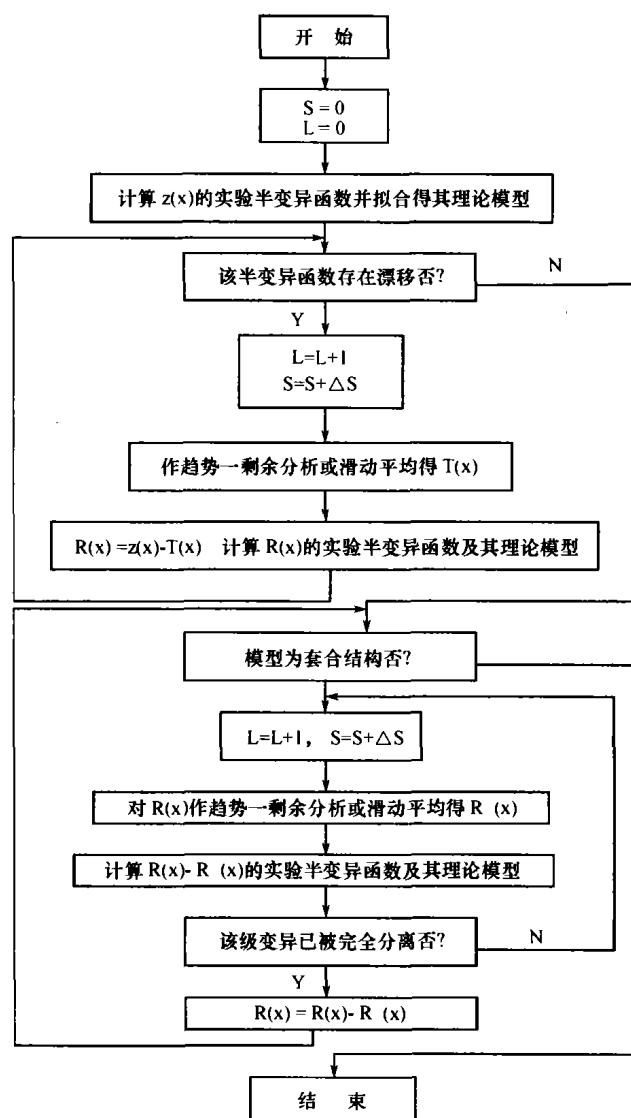


图1 变异分离同步筛分法流程图

L —趋势方程次数; S —滑动平均窗口

在具体实施该迭代过程时, 尚需注意几点:

1) 总体变化 $T(x)$ 的变异特征 $\gamma_T(h)$ 表现为一种漂移效应, 且 $\gamma_z(h)$ 中的套合结构常被这种漂移所压抑甚至掩盖。为显露套合结构, 我们应首先筛分总体变化 $T(x)$ 。

2) 整个迭代过程是一个由总体变化→多级局部变化→随机变化的筛分过程。迭代以套合结构的

完全分离或消失为结束准则。

3) 在每一次筛分中,趋势方程次数或滑动平均窗口的选择也是一个次级迭代过程,它以该级变化所对应的变异是否完全被分离为结束准则。

3 应用实例

笔者选择香花岭矿田主干断裂 F_1 为对象应用上述方法进行解剖研究。

主干断裂 F_1 为导矿、配矿和容矿三位一体构造,严格控制了似层状锡石硫化物矿床的形成和分布^[5]。地表和坑道地质观察表明, F_1 断层形成于成矿前,其断层面呈波状起伏变化,且成矿期又发生多次叠加剪切活动,造成局部引张和岩石破碎,为矿液的充填、交代和沉淀提供有利场所。据前人研究^[6],矿体于断层中的定位受控于断层面的波状起伏。我们以断层面标高 z 为地质变量,进行矿化指标(SN)^[7]和标高 z 的等值线图对比研究,但难以找出 SN 与断层面波状起伏的相依关系。其原因在于,标高 z 为一总体、局部、随机变化相叠加的综合性变量,断层波状起伏对矿体定位的控制已被其他因素所掩盖。鉴于此,我们利用上述的变异分离同步筛分法分解 z ,试图提取控制矿体定位的有效信息,以指导为深边部盲矿的找寻提供线索。

3.1 Z 的分解

1) 计算 z 的一代表性方向 h 的实验半变异函数,拟合得函数 $\gamma_z(h) = 0.1|h|^2$ 。

因 $\lim_{|h| \rightarrow \infty} \gamma_z(h)/|h|^2 = 0.1$,与内蕴假设^[4]不相容,说明存在一种明显的漂移。用图 1 中筛分漂移的方法选择趋势方程次数($L=1$),拟合该漂移得:

$$T(x, y) = 413.66 - 0.32739 \times 10^{-1}x - 0.56402 \times 10^0y \quad (7)$$

它对 $z(x, y)$ 的拟合度为 $C = 93.387\%$,经 F 检验,回归效果显著。

2) 计算 $z_1(x, y) = z(x, y) - T(x, y)$ 的半变异函数,知漂移效应也不存在。但 $z_1(x, y)$ 的半变异函数模型表现为套合结构,其公式为:

$$\begin{aligned} \gamma_{z_1}(h) = & 150[1 - \exp(-h^2/40^2)] \\ & + 200[1 - \exp(-h^2/92^2)] \\ & + 400[1 - \exp(-h^2/210^2)] \end{aligned} \quad (8)$$

即需对 $Z_1(x, y)$ 进行分解。用图 1 中筛分局部变化的方法选择趋势方程次数($L=3$),分解 $Z_1(x, y)$ 得:

$$R_1(x, y) = z_1^{\wedge}(x, y)$$

$$\begin{aligned} = & 6.0189 + 0.27784 \times 10^{-1}x - 0.12921 \times 10^0y \\ & - 0.24334 \times 10^{-4}x^2 - 0.16028 \times 10^{-4}xy \\ & + 0.15160 \times 10^{-3}y^2 - 0.27107 \times 10^{-7}x^3 \\ & + 0.56962 \times 10^{-7}x^2y + 0.54161 \times 10^{-7}xy^2 \\ & - 0.18810 \times 10^{-7}y^3 \end{aligned} \quad (9)$$

3) 计算 $z_2(x, y) = z_1(x, y) - R_1(x, y)$ 的半变异函数,知 $z_1(x, y)$ 中的低级变异已被消除。但 $z_2(x, y)$ 的半变异函数模型仍为套合结构,其公式为:

$$\begin{aligned} \gamma_{z_2}(h) = & 150[1 - \exp(-h^2/40^2)] \\ & + 250[1 - \exp(-h^2/75^2)] \end{aligned} \quad (10)$$

即尚需对 $z_2(x, y)$ 进行分解。用上述同样的方法选择趋势方程次数($L=5$),拟合 $z_2(x, y)$ 得:

$$\begin{aligned} R_2(x, y) = & z_2^{\wedge}(x, y) \\ = & 8.8303 + 0.63646 \times 10^{-1}x + 0.72933 \times 10^{-1}y \\ & + 0.51180 \times 10^{-5}x^2 + 0.12210 \times 10^{-3}xy \\ & + 0.16059 \times 10^{-3}y^2 - 0.10310 \times 10^{-6}x^3 \\ & - 0.10047 \times 10^{-3}x^2y + 0.52666 \times 10^{-2}xy^2 \\ & - 0.23528 \times 10^{-6}y^3 - 0.38786 \times 10^{-4}x^4 \\ & - 0.23019 \times 10^{-3}x^3y - 0.24494 \times 10^{-5}x^2y^2 \\ & + 0.44139 \times 10^{-9}xy^3 + 0.73542 \times 10^{-12}y^4 \\ & + 0.741741 \times 10^{-14}x^5 - 0.72217 \times 10^{-13}x^4y \\ & - 0.18869 \times 10^{-13}x^3y^2 + 0.49198 \times 10^{-12}x^2y^3 \\ & + 0.26346 \times 10^{-12}xy^4 - 0.2694 \times 10^{-12}y^5 \end{aligned} \quad (11)$$

4) 计算 $\varepsilon(x, y) = z_2(x, y) - R_2(x, y)$ 的半变异函数,其模型为:

$$\gamma_{\varepsilon}(h) = 200[1 - \exp(-h^2/40^2)] \quad (12)$$

由此知,套合结构已不存在。即地质变量 $z(x, y)$ 到各级变化的分解已告结束。

综上所述, $z(x, y)$ 可分解为:

$$\begin{aligned} z(x, y) = & T(x, y) + R_1(x, y) \\ & + R_2(x, y) + \varepsilon(x, y) \end{aligned} \quad (13)$$

3.2 地质解释

对于上述筛分结果,综合考虑 F_1 断层形成的多种控制因素,可对 $z(x, y)$ 中的 $T(x, y)$, $R_1(x, y)$, $R_2(x, y)$, $\varepsilon(x, y)$ 进行如下解释:

1) 总体变化 $T(x, y)$,可解释为早期形成的加里东期 $NE30^\circ$ 剪裂面和印支期 $NE60^\circ$ 剪裂面,对 F_1 断层展布方向的联合控制。它奠定了 F_1 的基本形态(平面形态)。

2) I 级局部变化 $R_1(x, y)$ 可解释为 F_1 断层在形成时追踪 $NE30^\circ$ 和 $NE60^\circ$ 两组共轭剪裂面而成的波状构造,称之为 I 级波状构造。

3) II级局部变化 $R_2(x,y)$ 可解释为 F1 断层活动的新生性和岩性差异等原因造成的次级波状构造,称之为 II级波状构造。

4) 变化 $\varepsilon(x,y)$ 解释为一种随机变化。

等值线图对比研究^[8]表明:SN 等值线的整体形态与 $R_1(x,y)$ 等值线形态相近;SN 等值线的局部轮廓与 $R_2(x,y)$ 等值线形态一致。这说明, I 级波状构造对矿化局部化起着主导作用,决定了矿化局部化或不均匀分布的基本形态; II级波状构造对矿化局部起着形成新的次级矿化和叠加富集的作用。我们称这样一种规律为断层波状构造的分级控矿规律^[7]。据此对香花岭矿田深、边部进行预测,认为新风深部为盲矿找寻有利地段。

4 结论

1) 地质变量中总体变化、多级局部变化和随机变化相互叠加,在变异特征上表现为 $Z(x)$ 的半变异函数等于各级变化所对应的半变异函数之和。

2) 为客观地筛分地质变量中的多级变化,我们提出一种使多级变化的分解与各级变化所对应之变异特征的分离同步进行的方法,称之为变异分离同

步筛分法。

3) 实例研究表明,应用该方法可分解控制断层形成的多级因素,并提取出了有效的找矿信息——波状构造。

4) 变异分离同步筛分法可用于各种地质、物探、化探数据中的多级变化的分解。

[参考文献]

- [1] 赵鹏大. 试论地质体数学特征[J]. 地球科学, 1982, (1): 145 ~ 155.
- [2] Goodman, A. Compare: a fortran IV program for the quantitative comparison of polynomial trend surfaces[J]. Computer & Geoscience, 1983, 9(3), 424 ~ 438.
- [3] 杨善慈, 文鸿雁. 杨赤中函数的理论公式及其适应力的理论探讨[J]. 科学探索 1989, 20(3), 230 ~ 237.
- [4] A G 儒尔奈耳. 矿业地质统计学[M]. 北京:冶金工业出版社, 1982, 147 ~ 289.
- [5] 文国璋. 临武县香花岭锡铅锌多金属矿矿化分带的初步研究[J]. 湖南地质, 1984, 3(1): 14 ~ 25.
- [6] 刘石年. 山东玲珑式金矿床矿体空间定位形势及形成机制的初探[J]. 地球科学, 1984, (4): 47 ~ 56.
- [7] 毛先成, 陈国光. 断层波状构造及其控矿规律的定量研究[J]. 中南矿冶学院学报, 1993, 24(1): 8 ~ 13.

THE MULTISTAGE DECOMPOSITION OF GEOLOGICAL VARIABLE AND ITS APPLICATION

SONG Nuan-he¹, PAN Zhi-gang¹, MAO Xian-cheng²

(1. Hunan Geologic Survey of Coal, Xiangtan 411000; 2. Central South University, Changsha 410083)

Abstract: A geological variable is a synthetic variable of the superposition of overall variation, multistage local variation and random variation. The study indicates the superposition of the variations has an obvious reflect on semivariogram models. And then, the decomposition of the variations is made synchronously with the separation of their variabilities. Basing on this, the author points out the multistage variations of a variable can be sifted effectively by combining trend-residual analysis or moving average with structural analysis. Lastly, an example of sifting a fault structure with the method is given.

Key words: geological variable, sifting, trend analysis, moving average, semivariogram, ore-controlling fracture.