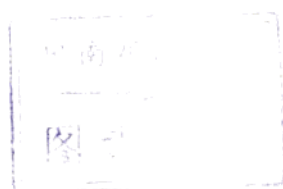


501778

中国地质科学院研究报告 0050

区域重磁资料 解释中的相关分析方法



293

矿床地质研究所

1983年

关于“区域重磁资料 解释的相关分析方法”的评审意见

该项研究课题始于一九八〇年，由姜枚、张瑜才、王德夫等同志进行研究，一九八一完成，八二年四月提出报告。

一九八二年九月廿四日受所委托室召集学术小组会议，对该项研究成果进行评议，参加审议的有吴功建、王秀琨、孙德梅、马开义，列席会议的有彭聪、赵秉群、王寅生、董宝和等。

评审意见

1. 选题是有意义的，有针对性，也是当前区域物探研究所急需的；
2. 完成了足够的工作量；
3. 方法和程序都是正确的，
4. 为应用数理统计方法进行物探资料的研究增添了新的内容。
5. 为区域物探资料的地质解释，从定性向定量过渡提供了新的途径；
6. 对划分地质构造，进行构造分区提出了一些新看法，对地质上有争议的问题，提出了更多的信息，使解释更有依据。

大家一致认为，此项工作在国内尚不多见，具有实用意义，应进行交流和推广。

矿床所物探方法研究室学术小组

1982. 9. 25

区域重磁资料解释中的 相关分析方法

1980年—1982年4月

编写单位 矿床地质研究所四室

参加人员 王秀琨、马开义、董宝和、王寅生、

姜 枚、张瑜才、王德夫

编写人员 姜 枚、张瑜才、王德夫

室主任 吴功建

所 长 陈毓川

提交报告时间 1982年4月

提交报告单位 矿床地质研究所

目 录

引言

一、原理及公式	(2)
二、相关分析程序组	(7)
1. 相关分析程序 (ALGOL)	(7)
2. 相关分析程序 (FORTRAN)	(9)
三、相关区间的确定	(11)
四、断裂构造的划分	(13)
1. 新疆东部地区航磁 ΔT (1/10万) 计算结果	(14)
2. 郯庐断裂的航磁 ΔT (1/100万) 计算结果	(15)
3. 嫩江地区航磁 ΔT (1/100万) 计算结果	(16)
4. 承德—沈阳地区航磁 ΔT (1/100万) 计算结果	(18)
5. 承德重力 Δg (1/100万) 计算结果	(18)
6. 呼和浩特一带 (1/100万) 航磁计算结果	(18)
7. 赤峰某金矿电法计算结果	(18)
五、构造分区	(19)
结束语	(23)
参考文献	(23)
附录 1. 相关分析程序组之程序 [3]	(23)
2. 相关分析程序组之程序 [4]	(26)
3. 相关分析程序组之程序 [8]	(35)

引 言

由于重力场和磁场的整体特征反映了地壳和更深处物质的物理性质与几何形状的不均匀性。同时,由于这些方法的效率较高能够较快地完成大面积上的测量,而且,目前也已积累了相当数量的资料,因此,在解决地质构造和区域矿产预测的有关问题时,它们得到广泛的运用。但是,在区域资料解释方面缺少有效的方法。现有的重磁异常的解释方法,大多只适于解释单个异常,或者是有限几个异常迭加的情况,解决区域性的地质问题,如揭示与地质构造有关的某些规律,识别复杂的相互干扰的异常、划分不同岩性的隐伏地质体,大量综合性资料的对比分析等等问题,不可能采用那些熟悉的、孤立异常的解释方法。迫切需要能解释区域物探资料的较有效的方法。物探方法的有效性,在相当大的程度上取决于野外观测中提取有用信息的程度。区域重磁资料解释的任务,首先是对大量不同因素造成的异常进行分类,从干扰中识别出不同类型的有意义的异常,并作出定性和定量的解释,重磁资料的解释理论和方法的发展所面临的任务是要求解决大量信息的多维问题。从这种要求出发,理当使用统计分析的方法。因为只有以统计观点研究多种参数,才可能得到较可靠的解释,从而作出正确的判断。

六十年代以来,电子计算机的广泛应用,为统计大范围的大量实际资料奠定了基础,使许多统计分析的方法得以实际应用,同时促进了解释方法的发展。尽管在实际上还存在许多不能令人满意的情况,但是,实践证明统计方法在区域物探资料解释中有着特殊作用。作为重磁资料解释方法的一个发展方向也是应该重视的。当然,无论在国内还是国外也存在另外的情况,由于某些方面不适当地夸大了统计方法的作用而忽视其局限性,从而对方法的发展也是不利的,我们的责任应该是恰当的使用这类方法,并正确地评价其真实的作用。

统计分析的方法是以概率和数理统计为基础的,近几年模糊数学的有关概念和方法也引起了广泛的注意,开始得到应用,从而把许多定性的地球物理特征用于解释中来,有助于提高方法的实际效果和扩大应用范围。

目前,相关预测、图象识别、参数的统计评价等方法,得到广泛应用,在解释多种地质问题上取得了较好的结果。例如,消除干扰,识别信息,确定海底扩张中心,对比不同构造区,研究不同地区莫霍面,以及在解决地层对比和其它一些地质构造问题上都愈来愈多地应用了统计分析方法。统计解释理论在现阶段的重要任务之一是克服存在的不确定性。这就要求针对具体的地质问题,尽可能多地掌握各种先验信息,提高其实质效果。相关分析方法是经典的统计分析方法之一,但是,在重磁资料解释中还仅仅是开始应用,本文的目的是从应用的角度来讨论相关分析的有关原理与公式,编制有实际意义的相关分析程序组,并且本文将围绕使用地球物理资料,介绍相关分析在区域物探资料解释中研究构造分区的和断裂划分等有关问题时的作用。事实上所编制的相关分析程序组,完全可以应用于其它方面的地质地球物理及地球化学问题上。

一、原理及公式

我们所观测到的区域地球物理场，是多种对象场与各种干扰场迭加的结果，一般可以作为随机场处理。众所周知，相关函数是刻画随机场性质的重要统计参数之一。

下面采用一般的数学推理公式来讨论相关函数的原理。

1. 相关系数

在实际工作中，往往需要比较两条曲线的相似性。为了定量地刻画这种相似性的程度，假设第 K 条测线的观测值为 $Z^{(K)}$ ，第 L 条测线的观测值为 $Z^{(L)}$ ($i=1, 2, \dots, N$)。

取一个适当的待定常数 α ，使得 $Z^{(K)}$ 和 $\alpha Z^{(L)}$ 相接近。衡量 $Z^{(K)}$ 和 $\alpha Z^{(L)}$ 相接近的程度，通常采用均方差的方法，即考虑其均方误差 θ ：

$$\theta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z^{(K)}_i - \alpha Z^{(L)}_i)^2 \quad (1)$$

首先令 θ 达到最小，从而确定出 α 的取值。根据数学分析中的极值原理，有方程：

$$\frac{d\theta}{d\alpha} = 0$$

$$\text{所以 } \sum_{i=1}^N (Z^{(K)}_i - \alpha Z^{(L)}_i) \cdot Z^{(L)}_i = 0$$

$$\text{解得：} \alpha = \frac{\sum_{i=1}^N Z^{(K)}_i \cdot Z^{(L)}_i}{\sum_{i=1}^N (Z^{(L)}_i)^2}$$

将 α 代入 (1) 式：

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z^{(K)}_i - \alpha Z^{(L)}_i)^2 \\ &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(Z^{(K)}_i)^2 - 2\alpha Z^{(K)}_i \cdot Z^{(L)}_i + \alpha^2 (Z^{(L)}_i)^2] \\ &= \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N (Z^{(K)}_i)^2 - 2\alpha \sum_{i=1}^N Z^{(K)}_i \cdot Z^{(L)}_i + \alpha^2 \sum_{i=1}^N (Z^{(L)}_i)^2 \right] \\ &= \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N (Z^{(K)}_i)^2 - 2 \frac{\sum_{i=1}^N Z^{(K)}_i \cdot Z^{(L)}_i}{\sum_{i=1}^N (Z^{(L)}_i)^2} \cdot \sum_{i=1}^N Z^{(K)}_i \cdot Z^{(L)}_i + \left(\frac{\sum_{i=1}^N Z^{(K)}_i \cdot Z^{(L)}_i}{\sum_{i=1}^N (Z^{(L)}_i)^2} \right)^2 \sum_{i=1}^N (Z^{(L)}_i)^2 \right] \\ &= \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N (Z^{(K)}_i)^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^N Z^{(K)}_i \cdot Z^{(L)}_i \right)^2}{\sum_{i=1}^N (Z^{(L)}_i)^2} \right] \end{aligned}$$

其相对误差：

$$\frac{\theta}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z^{(K)}_i)^2} = 1 - R_{KL}$$

$$R_{KL} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z^{(K)}_i \cdot Z^{(L)}_i}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z^{(K)}_i)^2 \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z^{(L)}_i)^2}}$$

其中:

$$R_{KL} = \frac{\sum_{i=1}^N Z^{(K)}_i \cdot Z^{(L)}_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Z^{(K)}_i)^2 \cdot \sum_{i=1}^N (Z^{(L)}_i)^2}} \quad (2)$$

或

R_{KL} 即为衡量曲线段 $Z^{(K)}$ 和 $Z^{(L)}$ 相似程度的数量性指标称为相关系数。

根据许瓦兹不等式得知:

$$\left| \sum_{i=1}^N Z^{(K)}_i \cdot Z^{(L)}_i \right| \leq \sqrt{\sum_{i=1}^N (Z^{(K)}_i)^2 \cdot \sum_{i=1}^N (Z^{(L)}_i)^2}$$

因此有不等式:

$$0 \leq |R_{KL}| \leq 1 \quad (\text{对于一切 } K, L \text{ 成立})$$

当 $R_{KL} = 0$, 相对均方误差达到最大值 1, 这说明 $Z^{(K)}_i$ 和 $Z^{(L)}_i$ ($i = 1, 2, \dots, N$) 不相似, 即不相关。

当 $R_{KL} = 1$ 时, 均方误差 $\theta = 0$ 这证明 $Z^{(K)}_i$ 和 $Z^{(L)}_i$ ($i = 1, 2, \dots, N$) 完全相似, 即完全相关。

综合上述, 我们可以用相关系数 R_{KL} 的数值来衡量两条观测曲线之间相似程度的大小, 当 R_{KL} 接近于 0 时, 则称 $Z^{(K)}$ 与 $Z^{(L)}$ 相关程度小, 当 R_{KL} 接近于 1 时, 则称 $Z^{(K)}$ 与 $Z^{(L)}$ 相关程度大。

在一般工作中采用的是未标准化的相关系数

$$R_{KL} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z^{(K)}_i Z^{(L)}_i$$

因为在表达式 (2) 中, 分母 $\sum_{i=1}^N (Z^{(K)}_i)^2$ 和 $\sum_{i=1}^N (Z^{(L)}_i)^2$ 分别表示 $Z^{(K)}$ 和 $Z^{(L)}$ 的总能量, $Z^{(K)}$ 和 $Z^{(L)}$ 的总能量固定, 相关系数的波形仅决定于分子。

此外, 表达式 (2) 中, 分母为均方根差, 相当于进行标准化, 这样就失掉了振幅信息, 尽管弱异常能得以放大, 但异常之间强度之差就无法进行比较了, 实践结果也证明了这个结论的正确性。

在考虑两条曲线相近时, 如果选取适当的待定常数 α, β 使得 $Z^{(K)}$ 和 $\alpha Z^{(L)} + \beta$ 的线性组合近似, 由极值原理有

$$\theta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [Z^{(K)}_i - (\alpha Z^{(L)}_i + \beta)]^2$$

令 θ 达最小, 得方程组:

$$\begin{cases} \frac{\partial \theta}{\partial \alpha} = 0 \\ \frac{\partial \theta}{\partial \beta} = 0 \end{cases}$$

解得:

$$\left\{ \begin{aligned} \beta &= \frac{\overline{Z^{(K)}} \sum_{i=1}^N (Z_i^{(L)})^2 - \overline{Z^{(L)}} \sum_{i=1}^N Z_i^{(K)} \cdot Z_i^{(L)}}{\sum_{i=1}^N (Z_i^{(L)})^2 - N(\overline{Z^{(L)}})^2} \\ \alpha &= \frac{\sum_{i=1}^N (Z_i^{(L)} - \overline{Z^{(L)}})(Z_i^{(K)} - \overline{Z^{(K)}})}{\sum_{i=1}^N (Z_i^{(L)} - \overline{Z^{(L)}})^2} \end{aligned} \right.$$

相对误差为:

$$\frac{\theta}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z_i^{(K)} - \overline{Z^{(K)}})^2} = 1 - R_{KL}^2$$

其中, 相关系数:

$$R_{KL} = \frac{\sum_{i=1}^N (Z_i^{(K)} - \overline{Z^{(K)}}) - Z_i^{(L)} \overline{Z^{(L)}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Z_i^{(K)} - \overline{Z^{(K)}})^2 \cdot \sum_{i=1}^N (Z_i^{(L)} - \overline{Z^{(L)}})^2}}$$

这就是数理统计学中的相关系数公式, 对于物探资料可认为:

$$\overline{Z^{(K)}} = 0 \quad \overline{Z^{(L)}} = 0$$

亦有 $\beta = 0$, 即是相关系数公式 (2)

2. 相关函数

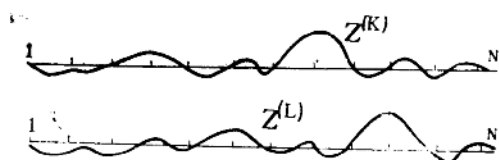


图 1 两条曲线相关关系示意图

前面仅对固定曲线段的相似性进行了讨论, 但在实际问题中, 同一线状构造反映在相邻剖面之间会具有一定错动, 如图 1;

若将 $Z_i^{(K)}$ 和 $Z_i^{(L)}$ 按对应点直接进行比较, 则它们的相似程度显然不大, 如果将曲线 $Z^{(L)}$ 向左移动两个测点的位置 (或将

曲线 $Z^{(K)}$ 向右移动), 再将 $Z_i^{(K)}$ 和 $Z_{i+2}^{(L)}$ 进行比较 ($i = 1, 2, \dots, N-2$), 则必然使得同一线状构造反映在不同测线的异常峰值相对应。那么, 在延迟后计算的相关系数 $R_{KL}(\tau)$

$$R_{KL}(\tau) = \frac{1}{N-2} \sum_{i=1}^{N-2} Z_i^{(K)} \cdot Z_{i+2}^{(L)}$$

将其取最大值, 从而达到突出线状异常的效果。

如果令 τ 表示延迟的取样间隔个数, 就得到 $Z_i^{(K)}$ 和 $Z_{i+\tau}^{(L)}$ 之间更具统计意义的互相关函数的公式:

$$R_{KL}(\tau) = \frac{1}{N-\tau} \sum_{i=1}^{N-\tau} Z_i^{(K)} \cdot Z_{i+\tau}^{(L)}, \quad (0 \leq \tau \leq N-1) \quad (3)$$

如果将 $Z^{(K)}$ 同其自身作相关, 得到自相关函数的公式为:

$$R_{KK}(\tau) = \frac{1}{N-\tau} \sum_{i=1}^{N-\tau} Z_i^{(K)} \cdot Z_{i+\tau}^{(K)} \quad (0 \leq \tau \leq N-1)$$

3. 相关滤波

在互相关函数表达式 (3) 中, 假定 $Z^{(K)}(i)$ 和 $Z^{(L)}(i)$ 的离散富氏变换对分别为 $Z_K(n)$ 和 $Z_L(n)$ 即

$$Z^{(K)}(i) \longleftrightarrow Z_K(n)$$

$$Z^{(L)}(i) \longleftrightarrow Z_L(n)$$

且令 $N_\tau = N - \tau$, 就有

$$R_{KL}(\tau) = \frac{1}{N_\tau} \sum_{i=1}^{N_\tau} Z^{(K)}(i) \cdot Z^{(L)}(i + \tau) \quad (0 \leq \tau \leq N-1)$$

显然 N_τ 即为空间域函数 $Z^{(K)}(i)$ 和 $Z^{(L)}(i)$ 在一个截断周期中总的样点数。因此有

$$R_{KL}(\tau) = \sum_{i=0}^{N_\tau-1} Z^{(K)}(i) \cdot Z^{(L)}(i + \tau)$$

根据文献[1]中离散相关定理可知:

$$R_{KL}(\tau) = \frac{1}{N_\tau} \sum_{i=0}^{N_\tau-1} Z^{(K)}(i) \cdot Z^{(L)}(i + \tau) \longleftrightarrow \overline{Z_K(n)} \cdot Z_L(n)$$

又根据离散富氏变换定理, 空间域中函数 $Z^{(K)}(-i)$ 的离散富氏变换对为:

$$\sum_{K=0}^{N_\tau-1} Z^{(K)}(-i) e^{-j2\pi \cdot i / N_\tau}$$

若令 $m = -i$, 则上式 = $\sum_{K=0}^{N_\tau-1} Z^{(K)}(m) e^{j2\pi \cdot m / N_\tau}$

$$= \sum_{K=0}^{N_\tau-1} Z^{(K)}(m) e^{-j2\pi \cdot m / N_\tau}$$

$$= \overline{Z_K(n)}$$

即有 $Z^{(K)}(-i) \longleftrightarrow \overline{Z_K(n)}$

根据离散富氏变换的唯一性定理可知, 用讯号 $Z_i^{(K)}$ 对任意一条曲线 $Z_i^{(L)}$ 计算互相关, 相当于对 $Z_i^{(L)}$ 经过一个滤波器的作用, 该滤波器在空间域的形式为 $Z^{(K)}(-i)$, 而对应于域频率的形式则为 $\overline{Z_K(n)}$ 。

有关公式及其性质

对于定义在矩形区域上的观测数据, 假定共有 M 条测线, 每条测线上有 N 个测点, 如果计算自相关函数和互相关函数, 共可计算出 $M \cdot (M + 1) / 2$ 个相关函数。若按一定的延迟进行分段相关, 则可得到数目更多的相关函数曲线, 如何把这众多的统计资料有选择、有目的地加以组合利用, 将是研究相关分析的主要课题。下面仅介绍几个目前工作中所采用的计算公式:

假设初始数据矩阵为:

$$Z = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{1N} \\ Z_{21} & Z_{22} & \cdots & Z_{2N} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ Z_{M1} & Z_{M2} & \cdots & Z_{MN} \end{pmatrix}$$

其中: M —测线数

N —每条测线上的测点数

(1) 按一定的延迟逐段计算相关系数:

$$R_{ij}(\tau_0) = \frac{1}{n_2 - n_1 + 1} \sum_{k=n_1}^{n_2} Z_{ik} \cdot Z_{jk+\tau_0} \quad (4)$$

其中: τ_0 —取定的推移间隔个数, $0 \leq \tau_0 \leq N - N_2 + N_1$

$1 \leq i, j \leq M$ 且 $i \neq j$

$1 \leq n_1 < n_2 \leq N$

基本性质:

相关系数 $R_{ij}(\tau_0)$ 是度量第 i 条测线和第 j 条测线, 移动间隔为 t , 在第 n_1 到第 n_2 个测点之间的线性相关程度的数量性指标。

(2) 自相关函数

$$R_{ii}(\tau) = \frac{1}{N-\tau} \sum_{k=1}^{N-\tau} Z_{ik} \cdot Z_{i, k+\tau} \quad (5)$$

其中: $\tau = 0, 1, \dots, N-1$

$1 \leq i \leq M$

基本性质:

a. $R_{ii}(\tau)$ 是度量第 i 条测线前后波形线性相关程度的数量性指标, 自相关函数的波形与观测本身的波形无关, 仅与它所包含的频率成分有关。 $R_{ii}(\tau)$ 可由原曲线的振幅谱唯一确定。

b. 在 $\tau = 0$ 时, $|R_{ii}(\tau)|$ 取其最大值。

c. $R_{ii}(-\tau) = R_{ii}(\tau)$ 即 $R_{ii}(\tau)$ 为偶函数。

(3) 互相关函数

$$R_{ij}(\tau) = \frac{1}{N-\tau} \sum_{k=1}^{N-\tau} Z_{ik} \cdot Z_{j, k+\tau} \quad (6)$$

$$R_{ij}(-\tau) = \frac{1}{N-\tau} \sum_{k=1}^{N-\tau} Z_{i, k+\tau} \cdot Z_{jk}$$

其中: $\tau = 0, 1, \dots, N-1$

$1 \leq i, j \leq M$ 且 $i \neq j$

基本性质:

a. $R_{ij}(\tau)$ 和 $R_{ij}(-\tau)$ 均是度量第 i 条测线和第 j 条测线之间线性相关程度的数量性指标。它仅包含两条曲线所共有的频率成分。

b. 一般来说 $R_{ij}(\tau) \neq R_{ij}(-\tau)$, 但是有 $R_{ij}(\tau) = R_{ji}(-\tau)$

c. 互相关函数在 $\tau = 0$ 时一般不取最大值, 而在某个定点 τ_0 才达到最大值。

(4) 二维相关函数:

$$R(r, s) = \frac{\sum_{i=1}^{M-r} \left(\sum_{j=1}^{N-s} Z_{ij} \cdot Z_{i+r; j+s} \right)}{(M-r)(N-s)}$$

$$R(r, -s) = \frac{\sum_{i=1}^{M-r} \left(\sum_{j=1}^{N-s} Z_{ij; j+s} \cdot Z_{i+r; j+s} \right)}{(M-r)(N-s)} \quad (7)$$

其中: $r = 0, 1, \dots, M-1$

$s = 0, 1, \dots, N-1$

基本性质:

二维相关函数能反映随机场总体的线性相关特征, 并能刻划参与计算的观测资料总的方向性。

二、相关分析程序组

1. 相关分析程序 (ALGOL)

(1) 程序功能:

对于同一测区的观测数据, 通过本程序可计算出正(负)二维相关函数, 宽行输出计算结果, 并用点值图的形式输出以备绘制等值线图, 通过本程序还可以算自相关函数, 相邻两剖面间的正(负)互相关函数, 以及用理论剖面和每条测线逐段计算互相关, 所计算出的一系列相关剖面, 不仅由宽行输出计算结果, 而且还可以由宽行打印出剖面图。

2. 重要的标识符说明:

TX——点距

TY——线距

Mo——始线号

MMK——二维相关函数剖面控制参数

NNK——二维相关函数测点控制参数

MM——二维相关函数总剖面数

NN——二维相关函数每条剖面上的总点数

M——初始数据测线数

N——初始数据每条测线上的总点数

Z——二维初始数据数组, 后存放结果

R——存放二维相关函数结果数组

RZ——存放理论剖面数组

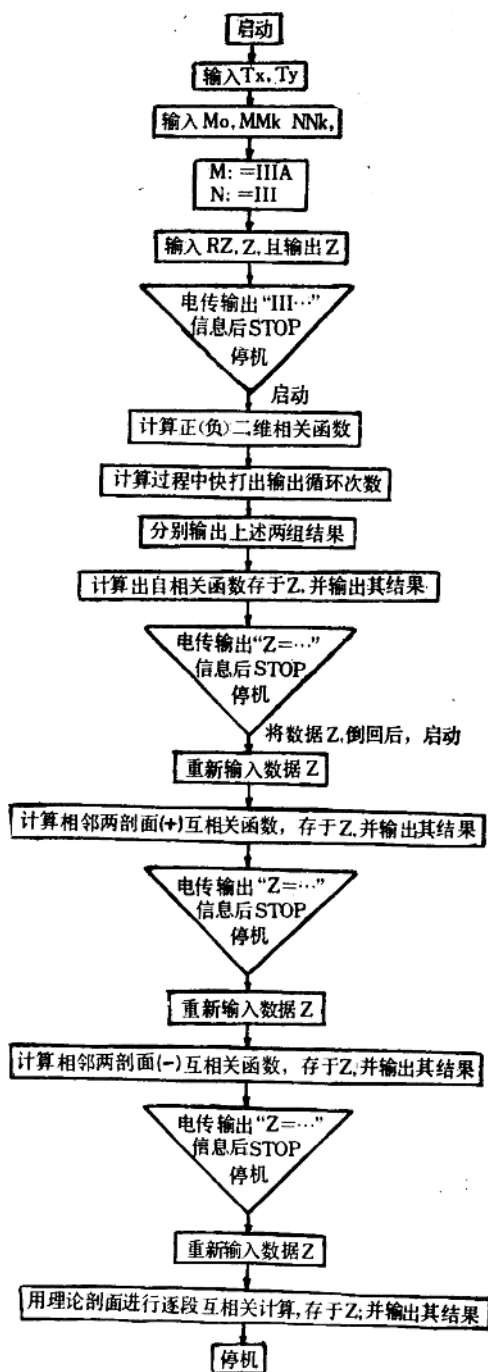
3. 框图及说明

说明:

[1]——第一批数据输入两个实型量

[2]——第二批数据输入叁个整型量

[3]——除采用一般数据打印方式输出外, 还采用宽行打印输出剖面图, 具体输出形式简单说明如下:

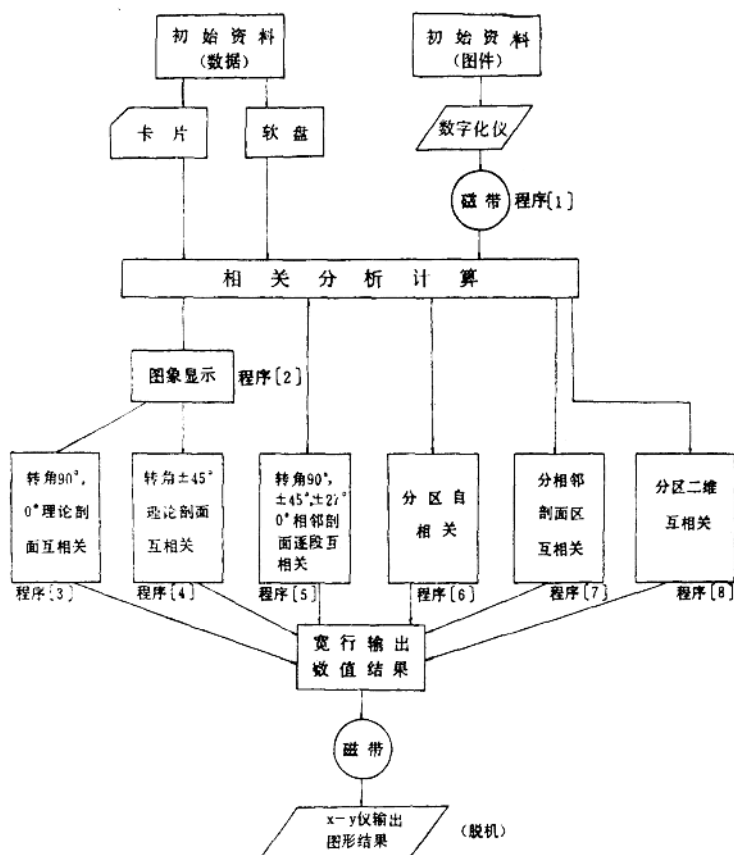


首先用“1”字符号以计算好的间距(1:1或2:1)沿宽行打印的“列”标出测线位置,然后用“*”,“G”,“0”,“+”,“Z”,“X”,“B”,“K”这八个不同的字符采用循环的方式,分别标出相邻八条测线函数点所在的位置。整理资料时,仅需要把代表每条测线的同一种字符用线连接成剖面图。

[4]除采用一般数据打印方式及宽行打印剖面图方式输出外,还可以平面等值图的方式输出其结果。

2. 相关分析程序 (FORTRAN)

(1) 框图及说明



(2) 程序功能

程序[1]: 在图形经过数字化仪处理之后的测区范围内按所需线距、点距内插出网格结点上的函数值,在宽行上输出其内插结果数组存贮在磁带上,并按一定比例尺和标差值,在X—Y仪上绘出它的等值线图。

程序[2]: 在所算测区内选具有代表性的测线,每三条为单位以穿孔卡片的形式输入,并和选出的理论剖面逐条进行互相关,计算之后,立即在图象显示仪荧光屏上显示互相关曲

线并进行硬件拷贝，最后在宽行上输出计算结果，从而帮助计算者较迅速、较合理地选取理论剖面。

程序[3]：对于某一测区的数据，用设计的理论剖面按测线进行互相关，计算出转角 90° 的互相关剖面值，然后再将初始数据矩阵转置。用设计的理论剖面按测点进行互相关，计算出转角 0° 互相关剖面值，计算结果由宽行输出，并在X—Y仪上绘制出平面剖面图。

程序[4]：对于某一测区的观测数据矩阵以 45° 和 -45° 方向上点列作为测线；用设计的理论剖面进行互相关，并在X—Y仪上绘出平面剖面折线图。

程序[5]：以所需研究之基本异常周期为“窗口”，将所计算测区相邻测线转角 90° ， $\pm 45^\circ$ ， $\pm 27^\circ$ ， 0° 逐段进行互相关计算，结果由宽行输出，并在X—Y仪上绘出平面剖面图。

程序[6]：为了研究物探资料的构造分区问题，本程序可将所算测区等分成许多矩形块，在每块内计算其自相关函数，每块的计算结果由宽行输出，并按原坐标，将各块的平面剖面图绘制在同一张图上。

程序[7]：为了研究物探资料的构造分区问题，本程序可将所算测区等分成许多矩形块，在每块内计算其相邻剖面的互相关函数，每块的计算结果由宽行输出，并按原坐标将各块的平面剖面图绘制在一张图上。

程序[8]：为了研究物探资料的构造分区问题，本程序可将所算测区等分成许多矩形块，在每块内计算其二维互相关函数，最大延迟取 $M/2$ ， $N/2$ （ M 为块内测线数， N 为块内每条测线上的测点数）每块的计算结果由宽行输出，并按原坐标，将各块的等值线图绘制在一张图上。

(3) 程序[3]、[4]使用说明：

这两个程序主要用来区分线状异常：一般来说，在程序[3]计算完后方才判断是否需要程序[4]计算，所以，分别安排成两个独立的程序，它们在主程序逻辑构造上基本相同，只是其它子程序计算过程不同罢了，因此，放在一起进行说明。（具体程序请见本文后面的附录）

①重要标识符说明

Z——存放初始数据矩阵数组

CZ——存放计算结果数组

M——测线总数

Mo——始测线号

N——每条测线上测点总数

No——始测点号

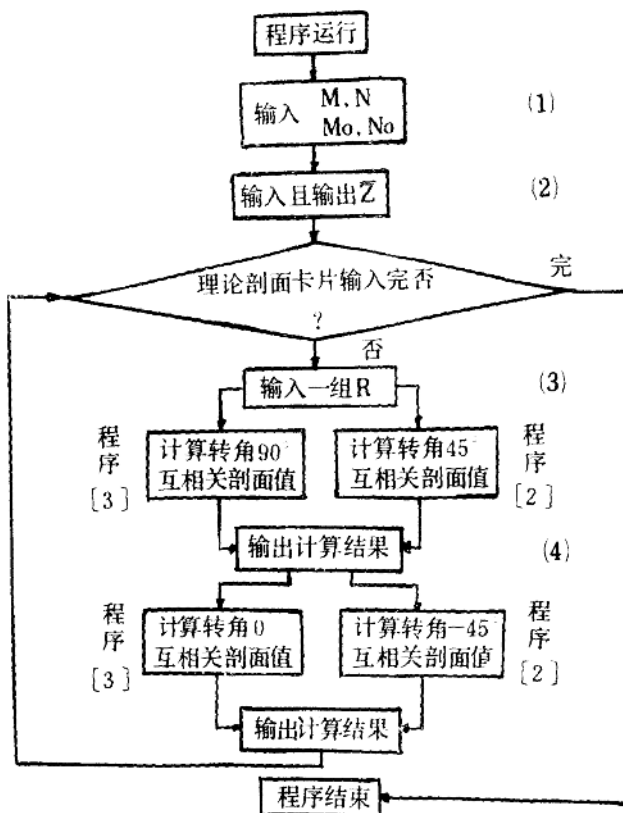
R——理论剖面数组

IFHM——X—Y仪作图信息返回代码

(4) 框图及输入输出说明

(a) ——M, N (和Mo, No) 为各占4位的整数信息，安排在同一张卡片上。

(b) ——初始数据矩阵 $\bar{Z}$ 安排在子程序CORR中输入，也可以直接从磁带上调入内存，也可以采用卡片输入，只要将相应的输入格式稍加修改即可。



(c) ——理论剖面 R 每组取五个数，每个数占七位安排在同一张卡片上，如果每批数据的格式与上述不符，可将 $\overline{CORR}$ 中相应的格式语句加以修改。

(d) ——宽行输出 $\overline{CZ}$ 和 R 的数值结果，并将 $X-Y$ 仪作图信息存入磁带， $X-Y$ 绘图信息记带后，如果返回代码 $IFHM = 0$ ，则说明执行正确，否则说明参数有错。

限于篇幅，不可能将上述程序一一列出，仅在本文附录中给出程序 [3]，程序 [4]，程序 [8] 的具体程序 (FORTRAN)。

三、相关区间的确定

互相关函数的富里叶变换即是交叉功率谱，因此，互相关函数表达所包含的全部频率成分的交叉乘积项的功率。

在功率函数中，相位信息被消除，因此通常的相关输出并不能对应原序列的位置。为了辨别极大相关，在累加的过程中就要失掉振幅信息。

若想找到最大相关的位置,则相关输出就要缩短输出区间的长度。短区间一般称为窗口。

在利用已知异常模型进行互相关运算时,同样需要选择最适当的理论模型。理论模型的选择通常需要根据地质体的性质和异常特征初步确定下来,例如,在研究断裂问题时,根据所掌握的地质资料,初步确定某个地区内与断裂有关的异常形状、大小、宽度等特征,并非困难的事。由这些特征可以给出几个可能的理论模型,进行具体的计算,按其结果作出对比,以便最后确定所需的理论模型。图2给出了几个不同大小、形状的异常,在新疆某地的三条相邻的剖面上利用程序[2]分别作了计算,通过对比,最后确定使用图中的Ⅰ或Ⅱ进行计算,并取得了较好的结果。通过对不同模型的计算结果的对比(图2)还可以看出:

(1)对相关曲线形状影响最明显的是异常模型的宽度,其次是强度和形态。例如图中的Ⅰ与Ⅱ,Ⅳ与Ⅴ模型的宽度相同,其形态、大小虽然略有差别,其计算的相关曲线却很相似,而Ⅰ与Ⅳ等却因宽度不同而导致计算的曲线差异较大。

(2)异常模型的宽度相近,大小形态差异不大,而异常符号相反时,例如,Ⅴ与Ⅶ,Ⅶ与Ⅲ,其相关曲线的形态没有变化,仅仅改变了曲线的方向,可是,对于利用相关曲线的特征,确定线状异常的位置,曲线的正负没有任何影响。所以,具体分析和选择模型时则完全不必考虑异常的正负。

(3)模型Ⅱ显然宽度和强度均过小,使相关滤波的结果将大部分有用信息漏掉了。而使用Ⅵ、Ⅴ较宽的异常模型,反映局部异常不合适,它主要反映一些较大构造的特征。这类模型适于在小比例尺填图时,用来突出最主要的构造轮廓。

综上所述,可以认为,在给定的地区范围内选择过多的模型是不必要的,根据具体情况选择一二个即可,然而,试图依靠某一模型去适应不同问题的需要也是不适宜的。在选择模型时,重要的特征是考虑异常的宽度,而异常幅度的差异和局部异常形态的差异均不会在相关曲线上有十分明显的表现。这个问题的讨论,实际上是从另一个角度说明了计算相关曲线时选择适当窗口的意义。

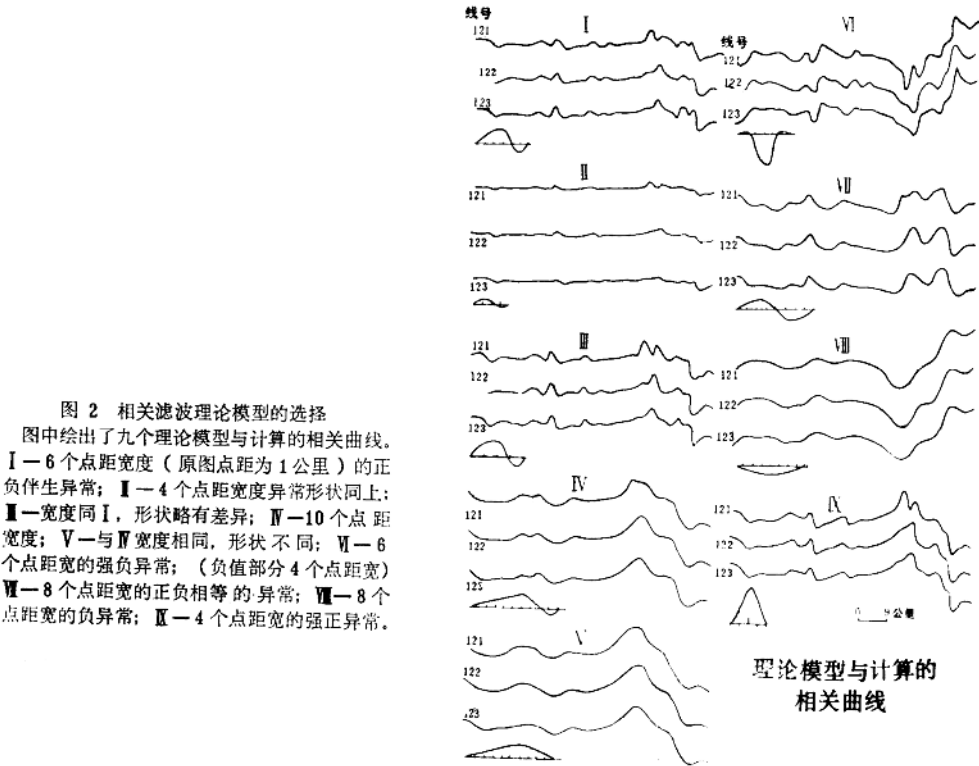
还应指出,将几种不同模型组合起来使用是没有必要的。其结果仅仅相当于使用这几个模型迭加后的一个复杂异常;这样的模型没有实际意义。

进行计算时还要考虑测线的方向,因为,理论模型是针对垂直于地质体走向的测线上确定的,而野外测量通常只是在垂直于主要异常走向方向的测线上进行,因此,其它方向的异常受到压抑,形态亦被弯曲,为了较清楚地反映出各方向上的异常,作相关分析时采用转换测线角度的作法,将南北向测线的原始数据,按转换的测线重新排列,然后与理论剖面作相关运算。在不同的地区依据不同的具体情况和任务来选择转换的角度。

另外,考虑到具体的异常往往是有限大小的,在计算互相关函数时,按一定区间逐段滑动地进行计算,能取得好的结果。(见图4)滑动区间的大小同样需要考虑具体情况来选择。

总之,进行各种相关运算时,为了取得最佳的结果,需要选择适当的“窗”(给定的距离)。选择“窗”固然有许多计算方法可提供参考的数据[2]。但是,主要应该考虑以下因素(1)测区的范围,一般地讲,计算的测区较大时,给定的间隔应大些,测区较小时,“窗”亦应小,而给定的最大距离不宜超过测线长度的1/3,(2)所要解决的地质问题的

性质，及其地球物理场的特征，应尽可能使所研究的对象与“窗”的大小相适应。在某一测区进行具体计算时，需考虑上述原则选择几个不同的间隔作对比，以便确定最适当的“窗”。实际上，鉴于所研究对象有时相差悬殊，所以，在具体地区考虑选择不同间隔进行计算常常是很有必要的。尤其在按一定“窗”逐段计算相关性时，要重视选择适当的间隔。



断裂构造的划分

利用区域性物探资料研究断裂构造，特别是大的断裂，是很有意义的工作，事实证明，重磁资料能较可靠地划分出地表地质工作无法识别的许多断裂构造，并为确定断裂的特征提供出重要资料。在以往的工作中，我们早已分析过重磁场的某些线状特征，例如，大的梯度带，线状和带状异常，成串出现的局部异常，有明显方向的异常的突然中断与错位等等，这些特征在一定程度上反映了断裂的存在。为了识别断裂，需要先划分出这种特征线。以往主要依据这些特征，由目测的方法划分出特征线。可是，这种目测的方法因为缺乏定量的特征，使得不同研究者的目测结果往往不甚一致，由于干扰和异常的重叠，在特征不够明显的情况下，容易产生一些随意性，许多特征也无法识别出来。为了较正确地识别可能存在的所有重磁特征线，并确定其位置和延伸，以及其他一些特征，可以利用前面提到的相关分析的