

重磁异常对应分析应用及评述

刘沈衡

(华东有色地质勘查局814队)

提 要 本文介绍了重磁异常对应分析在松辽盆地扎龙地区的应用效果。评述了重磁异常对应分析在壳、幔构造及地热分析中的应用,并用前人的资料加以证实。指出重磁异常对应分析是减少重磁异常解释的多解性和了解重磁异常正常场选择恰当与否以及壳、幔构造和地热特征研究的行之有效的办法。本文还对重磁异常对应分析应注意的若干问题做了说明。

关键词 对应分析 相关性 正常场 物性 壳 幔 地热

基于位场理论的重磁异常解释问题具有固有的多解性。为了减少多解性,通常将重磁异常互相配合解释。重磁异常的相关特征往往作为异常源地质解释的重要信息,但对重磁异常的相关性,一般由解释者目视重磁异常的空间特征来判断。解释者的经验及主观认识对解释结果影响很大,基本没有判别重磁异常相关性的定量标准。为了减少重磁异常解释中的人为因素,建立重磁异常相关性的定量判别标准很有必要。

重磁异常对应分析(IEA);根据泊松理论把同源的重磁异常有机地联系在一起,通过定量研究,可以给出重磁异常的定量相关程度,减少了重磁异常解释中的人为因素,客观地反映了重磁异常源的地质属性,减少了多解性。重磁异常对应分析还可以给出重磁异常正常场的信息,对正常场选择有一定的效果。通过对长波长区域性重磁异常进行对应分析,有可能给出有关地壳深部及上地幔构造与区域性地热等方面的信息,有助于壳、幔构造形态及地壳动力学等方面的研究。是深、浅部地质构造研究行之有效的办法之一。

1 重磁异常对应分析原理

由位场理论,同一场源的重力异常和磁异常之间可用泊松方程描述。即:

$$u = -\frac{1}{4\pi} \cdot \frac{1}{f\Delta\sigma} \cdot \bar{J} \cdot \nabla V^{[1]} \quad (1) \textcircled{1}$$

式中:u 为磁标位(A)

f 为万有引力常数(m^3/kg)

$\Delta\sigma$ 为场源剩余密度(kg/m^3)

① 本文中诸方程适用于国际单位(SI)制

$\vec{J}$ 为场源磁化强度矢量(A/m)

V 为重力位(m^2/s^2)

根据重磁异常定义,对重磁位求垂向一次微商可得重力异常和磁异常垂直分量 Δg 和 ΔZ 。

$$\Delta Z = -\mu_0 \frac{\partial \Delta V}{\partial g} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{1}{f\Delta\sigma} \cdot \vec{J} \cdot \nabla \left(\frac{\partial V}{\partial g} \right) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{1}{f\Delta\sigma} \cdot \vec{J} \cdot \nabla (\Delta g) \quad (2)$$

式中: μ_0 为空气的导磁系数(H/m)

ΔZ 为磁异常垂直分量(A/m)

Δg 为重力异常(m/s^2)

化极、有

$$\Delta Z_{\perp} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{J}{f\Delta\sigma} \cdot \frac{\partial}{\partial g} (\Delta g) \quad (3)$$

(3)式表明,同一场源的化极磁异常与重力异常的垂向一次微商之间满足线性关系。实际资料表明,由于正常场、干扰体、强剩磁等因素的影响,化极磁异常和重力异常垂向一次微商之间的线性回归线的截距往往不为零,不失一般性,重磁异常相关方程可写成如下形式:

$$\Delta Z_{\perp} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{J}{f\Delta\sigma} \cdot \frac{\partial}{\partial g} (\Delta g) + A \quad (4)$$

计算时,给出一定尺度的窗口(泊松窗口),以测点作为给定窗口的中心,将窗口内相同点的化极磁异常和重力异常垂向一次微商按(4)式进行最小二乘线性回归计算,得到该测点的相关系数 R ,斜率 $\frac{\mu_0 J}{4\pi f\Delta\sigma}$,截距 A 。把窗口移到下一个测点,重作上述计算,此过程一直继续到全部测点,可得出整个计算空间的相关系数,斜率,截距分布曲线。

线性回归计算的相关系数有助于重磁异常之间相关模式的建立。最显著的相关性为相关系数为-1.0和1.0,它们分别反映重磁异常之间反相关和正相关的对应性。实际资料中,相关系数多大才表明重磁异常相关没有绝对界限,应视具体情况而定。文献^[2]认为,相关系数绝对值大于0.4时,基本上可认为重磁异常是相关的,重磁异常基本上是同源的。

如果重磁异常是相关的,通过重磁异常对应分析的斜率值可得到重磁异常源的泊松比($\frac{J}{\Delta\sigma}$)。根据其它地质和地球物理信息,知其一个即可求另一个物性参数,为研究重磁异常源提供了直接的物性信息。

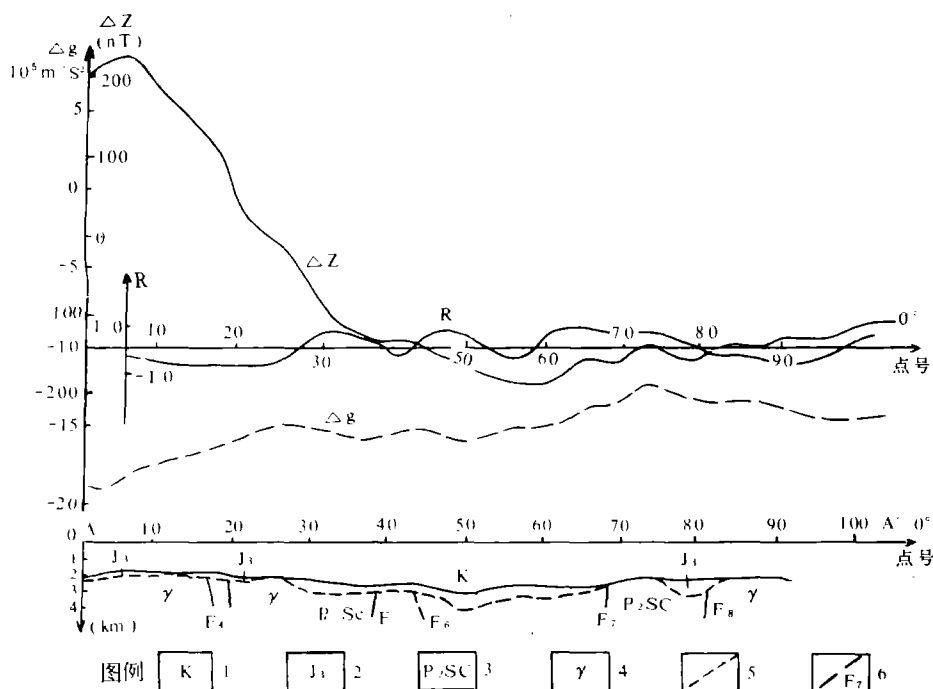
如果重磁异常是相关的,而且重磁异常对应分析的截距是常数或变化平稳时,可认为磁异常背景值就是截距值。说明重磁异常对应分析可以了解磁异常正常场选择是否合适,而这一点直接关系到重磁异常源的定量解释结果。

2 重磁异常对应分析应用及评述

2.1 重磁异常对应分析在松辽盆地扎龙地区的应用。

图1是松辽盆地扎龙地区 A-A' 剖面综合推断图,剖面方向为南北向。

根据物性参数测定结果,该区盖层中的白垩系沉积岩平均密度为 $2.30 \times 10^3 \text{kg}/\text{m}^3$,侏罗系



图例说明:1.白垩系 2.侏罗系 3.古生界浅变质岩 4.花岗岩 5.推测地质界线 6.推测断裂

图1 松辽盆地扎龙地区 A—A' 剖面综合推断图

Fig. 1 Integrated inferring of A—A' section in Zalong area, Songliao Basin

沉积岩平均密度为 $2.68 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,侏罗系安山岩平均密度为 $2.25 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$;基底中的浅变质岩平均密度为 $2.64 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,花岗岩密度为 $2.52 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。据杜403井磁性测定结果,安山岩磁性较强,感磁平均为 $392 \times 10^{-3} \text{ A/m}$,余磁平均为 $1426 \times 10^{-3} \text{ A/m}$ 。若认为感磁与余磁同方向,安山岩总磁化强度为 $1818 \times 10^{-3} \text{ A/m}$;盖层中的沉积岩无磁性;基底除花岗岩具微弱磁性外,浅变质岩无磁性。

对剖面25号点以南的重力异常低值和磁异常高值区,就面积性资料而言,重磁异常无论在分布范围、走向、形态等方面有许多相似性,直观上具重磁异常反相关特征。而25号点以北,重磁异常总体上具重力低、磁力低正相关特征,局部地区具重力低,磁力高反相关特征。它们的相关程度以及地质构造特征及岩性分布情况需要解决。为此,笔者对该剖面的重磁异常进行了对应分析。

重磁异常对应分析计算的泊松窗口按5倍点距给出,保证每个泊松窗口内有5个测点。为了消除干扰因素,先对重磁异常上延1000米后再进行对应分析计算。

从重磁异常对应分析的相关系数来看,剖面25号点以南地区的重磁异常呈明显的反相关,相关系数均在 -0.95 以上,且斜率和截距曲线比较平稳(结果未给出)。说明该地区的重磁异常同源。磁异常显然是由侏罗系安山岩引起的,那么,其下伏岩石应是高密度的。由前述物性资

料,侏罗系沉积岩、基底中的花岗岩、浅变质岩均具备这一条件。究竟是那种岩石,单从重磁异常特征上已不易判别。为了解决这一问题,笔者利用重磁异常对应分析方法反算了下伏岩石的剩余密度,从而定量指出下伏岩石的岩性。

为了综合评价重磁异常源的性质,笔者未直接利用重磁异常对应分析的斜率曲线所揭示的泊松比,而是将该范围内所有测点置于一个泊松窗口内,对该范围内所有测点的化极磁异常和重力异常垂向一次微商作回归计算,得出相关方程如下:

$$\Delta Z_{\perp} \times 10^{-9} = \frac{\mu_0}{4\pi f} \times 6857 \times 10^{-6} \times \frac{\partial}{\partial g}(\Delta g) + 128 \times 10^{-9} \quad (5)$$

相关系数为-0.85,大于信度1%的相关系数(0.487)。该相关系数低于剖面对应分析的相关系数推测是由泊松窗口增大,旁侧影响引起的。

上述表明,该范围内的重磁异常整体相关性好,满足泊松方程条件,泊松比为:

$$\frac{J}{\Delta \sigma} = 6857 \times 10^{-6} \quad (6)$$

将安山岩的磁化强度代入(6)式,可得出重磁异常源的剩余密度值为 $0.265 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。

该值表明,重磁异常源的剩余密度和安山岩与花岗岩的密度差 $0.27 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 接近,而和安山岩与侏罗系沉积岩、安山岩与基底浅变质岩的密度差($0.43 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、 $0.39 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)相差较大,说明安山岩下伏岩石应为花岗岩。区域地质资料表明,该区已进入西部斜坡区,相对于滨州断裂(F₄)以北地区,基底呈隆起状态,基岩以花岗岩为主。

25~80号点,重磁异常整体上呈重力低,磁力低的正相关特征,相关性较好,说明该范围内火山岩不发育,致使重磁异常呈正相关的地质因素是基底凹陷,同时沉积了较厚的无磁性白垩系沉积岩,基岩应以浅变质岩为主。

80号点以北,重磁异常又呈重力低、磁力高的反相关,虽然重磁异常相关特征与25号点以南地区相似,但该范围内磁异常相当微弱,因此,推测该范围内的重磁异常起因于同属基底的花岗岩相对浅变质岩磁性略强而且密度较低的地质特征,它的地质解释与25号点以南地区截然不同。

该区重磁测量均为相对测量,总基点的重磁场值参考区域性重力和航磁资料给以常数,这就涉及到该值给的是否恰当的问题。为此,笔者选择了全测区不同地段的5条测线作了 $\Delta Z \rightarrow \Delta H \rightarrow \Delta Z$ 计算。结果表明,5条测线的磁异常转换前后差值平均为119nT,和重磁异常对应分析的截距值128nT相近。说明该区磁异常正常场选择欠佳。重磁异常对应分析对了解正常场有一定的效果。

上述分析为了解该区的基底构造形态、岩性分布特征、正常场选择问题等方面提供了丰富的信息,所做的推断均被地震、钻井资料所证实。重磁异常对应分析在该区取得了一定的地质效果。

2.2 重磁异常对应分析在壳、幔构造形态研究中的应用评述

由于壳、幔构造的勘探深度大,它主要应研究长波长重磁异常信息。因此,必须对长波长重磁异常的起因有比较明确的认识。

据地球物理资料,地壳上部硅铝层的平均密度大约为 $2.70 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$;地壳下部硅镁层的

平均密度大约为 $3.10 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$;上地幔的平均密度陡增到 $3.40 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。目前,对上地壳

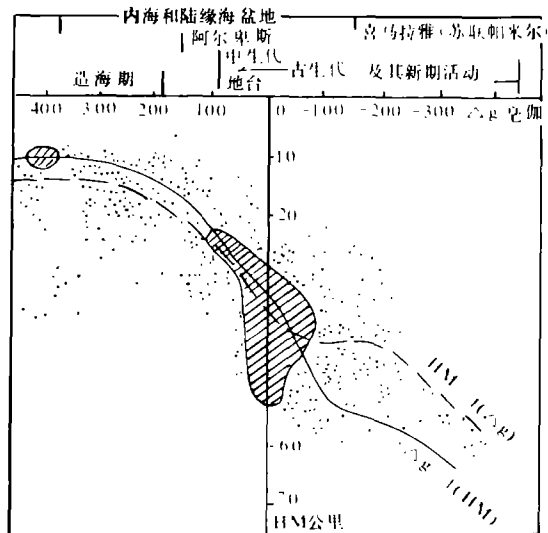


图2 全球范围布格重力异常 Δg 与莫霍界面深度 H_m 之间关系(阴影区为点密集区)

Fig. 2 Relation of Moho depth to Δg in global scale

与下地壳之间是否存在明显的界面(康德面)虽有不同看法,但对地幔与地壳之间存在明显界面(莫霍洛维奇面)确是公认的,笔者认为,长波长的重力异常高与低一般反映为莫氏面的隆与凹。这一点可用图2所示的重力常与莫氏面深度之间的统计规律所证实。

在地表,经常可见由分异、构造、接触交代和变质作用形成的岩性变化。由表及里,这些现象在地壳下部和上地幔也应广泛存在。由于地球的重力作用,比重大的铁镁质矿物将向深部迁移,地壳深部磁性物质含量增加。

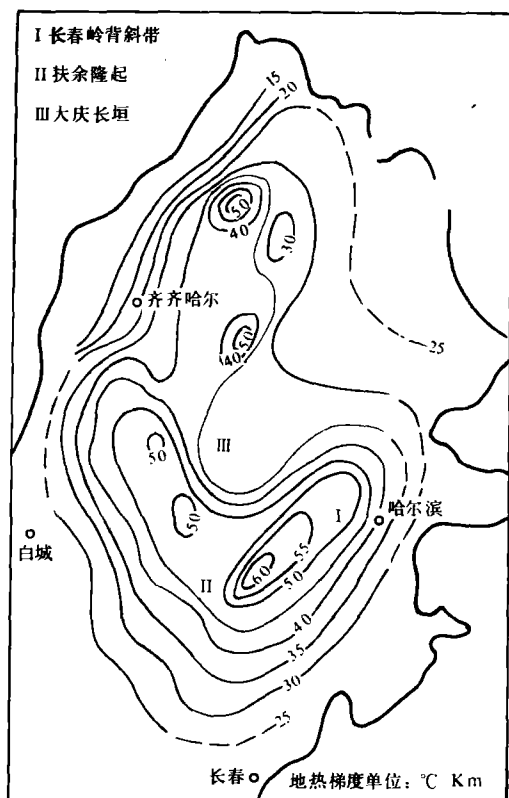
现已发现,钛铁矿系列是地壳岩石中最主要的磁性载体。深成岩和高级变质岩的实验表明,由于深成岩温度较高、压力较大,一方面可使钛尖晶石分解成磁铁矿及相近的钛磁铁矿和钛铁矿;另一方面可增加

地壳下部及上地幔中铁镁质组分中含铁矿物的析出量,从而使地壳下部磁性增强。此外,由于地壳上部温度变化较大,热剩磁往往较强,特别是喷出岩分布区,而深部岩石则不同,整体上看,深部岩石有效磁化强度增大。

上述表明,地壳下部岩石的磁性总体上应高于地壳上部岩石磁性。舒韦和霍尔等人的研究表明,地壳下部的磁化强度可以高出地壳上部磁化强度达一个数量级,约为 5 A/m 左右。笔者认为,长波长磁异常主要与地壳下部强磁性岩石密切相关。

由于磁性矿物具有比较特殊的性质,即当温度达到临界温度(居里温度)后将失去磁性。据戈尔德什密特等人的研究,磁性岩石的居里温度下限值约为 585°C 。按居里—外斯定律,以平均地温梯度 30°C/km 计算,居里面平均深度约为 19.5 公里,居里面以下部分的岩石将失去磁性而呈无磁性岩石。因此,地温分布特征将直接影响到地壳下部强磁性岩石由于地温影响而失去磁性的岩石厚度,因而,地温特征也将影响到长波长的磁异常特征。这就为重磁异常对应分析研究区域性地热特征奠定了地球物理基础。

以松辽盆地为例,图3是松辽盆地的地温梯度平面图,由该图可见,盆地内地温梯度明显高于盆地周边地区,其平均地温梯度约为 37°C/km 。若以上述居里温度计算,盆地内居里面平均深度约为 15.8 公里。大庆一带由于地温梯度达到 42°C/km ,其居里面深度可能仅为 13.9 公里。即使考虑到深部岩石,如寒武系深变质岩和火成岩的地温有别于地表地温测量结果和沉积岩地温特征(图4),居里面的深度可能略有变化,但不会改变盆地内居里面深度浅于盆地周边居里面深度这一事实。因此,松辽盆地深部强磁性岩石相对于盆地周边地区亏损,亏损厚度可



1. 长春岭背斜带 II. 扶余隆起 III. 大庆长垣

图3 松辽盆地地热梯度平面图

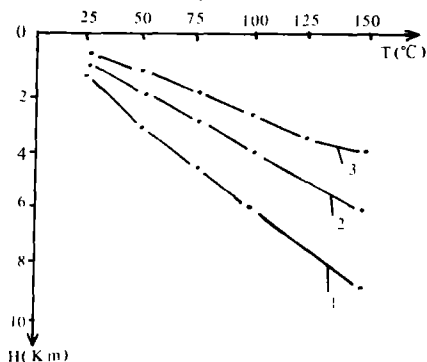
Fig. 3 Plan of geothermal gradient of Songliao Basin

密切,具明显的相关性。

根据上述分析,笔者认为,对重力高,磁力低的重磁异常相关区,说明莫霍面隆起,地温应较高,致使居里面深度变浅,从而使地壳下部磁性岩石的厚度变薄,其深部构造特征应具有与图6所示的松辽盆地深部构造特征相似的特征。推测地台区一般具其特征。

对重力低、磁力高的重磁异常相关区,说明莫霍面凹陷,地温应较低,致使居里面深度变深,从而使地壳下部强磁性岩石厚度增大。其深部构造特征应与图6所示的特征相反。推测地槽区一般具其特征。

以上两种大陆地区最为普遍的深部构造模式所蕴育的重磁异常均具重磁异常反相关的特征,因此,推测大陆地区长波长重磁异常普遍具有反相关特征。这一推测可由 Frese 等人在北美大陆所作的区域性重磁异常对应分析成果证实。图7是他们的成果^[5]。由该图可见,大陆地区长波长重磁异常多呈重磁异常反相关。同时发现:具重力高、磁力低特征的重磁反相关地区,地温普遍较高,莫霍面隆起,地壳变薄,如黄石国家公园;具重力低、磁力高特征的重磁异常反相关



1. 前古生代和下古生代结晶岩石 2. 中、上古生代沉积岩
3. 中生代和新生代岩石

图4 不同地热场中温度—深度变化关系

引自热瓦戈(有省略)

Fig. 4 T—P relation in different geothermal field

达5.6公里。因而,松辽盆地长波长磁异常从理论上讲应呈区域性磁异常低。事实上松辽盆地的长波长磁异常特征也是如此,这在图5所示的东北地区航磁上延100公里后的异常平面图上一目了然。众所周知,松辽盆地上地幔隆起,重力异常呈区域性重力高^[4]。归纳起来,它具有高重力异常,低磁异常和高地温梯度,三者之间关系

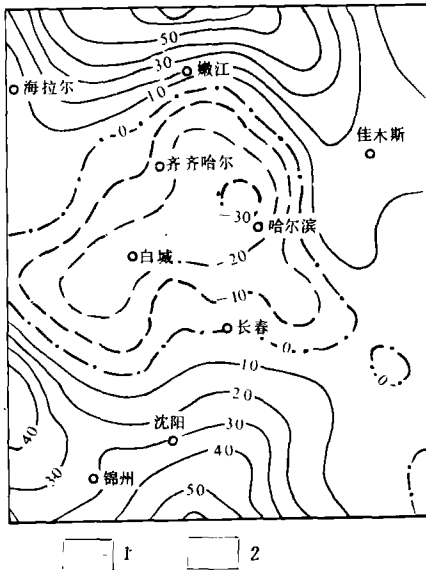
地区,地温普遍较低,莫霍面凹陷、地壳变厚,如印第安那、俄亥俄、肯塔基三州交界地区。

上述壳幔构造的关系表明,地壳的均衡补偿运动均以上地幔的隆凹补偿为主,说明重磁异常对应分析尚可判别地壳均衡补偿运动的方式,推测重磁异常反相关地区的地壳均衡补偿运动与上地幔关系密切,而对重磁异常正相关的地区,除了上地幔的补偿运动外,还有地壳内部自身的补偿运动。Frese 等人的研究表明,重磁异常正相关的地区,地壳内部的物质密度一般较其它地区均有畸变。

综上所述,通常情况下,不同类型的大陆区域性长波长重磁异常反相关揭示了不同的壳、幔构造特征与地热特征。利用区域性长波长重磁异常对应分析可以给出诸如地壳厚度、地幔、居里面形态,区域性地热特征以及地壳均衡补偿运动方式等方面的信息。

3 结论与认识

综上所述,重磁异常对应分析建立了重磁异



1. ΔT 负异常 2. ΔT 正异常 单位: nT

图5 东北地区 ΔT 化极上延100公里平面图

Fig. 5 Plan of ΔT reduced to the pole of upward continuation about 100 km of Northeast China

常相关性的定量判别标准,减少了重磁异常解释中的人为因素。可以提供有关重磁源物性、重磁异常背景场的信息。通过对区域性长波长重磁异常对应分析的研究,可以提供如地壳厚度、地幔形态、居里面形态、区域性地热等方面的信息,对研究地壳动力作用有一定的效果。是深、浅部地区构造研究的有效方法之一。

在进行重磁异常对应分析时,应注意以下几个问题:

a. 特别需注意斜率与截距的稳定性。如果二者变化很大,

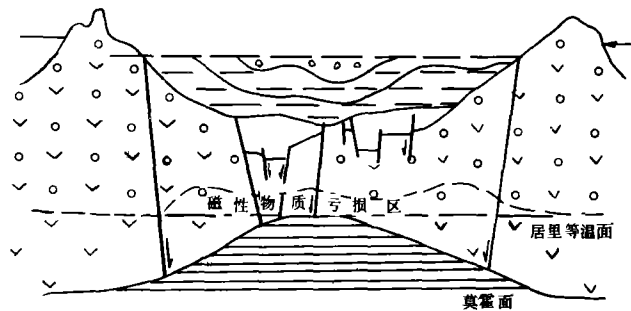


图6 松辽盆地深部构造特征示意图

引自乔日新(有省略)

Fig. 6 Structural feature at depth of Songliao Basin

说明已不满足泊松方程的应用条件,此时不能对重磁异常作对应分析计算。分段稳定时,可分段进行重磁异常对应分析。

b. 对研究区不同地质体的重磁异常特征及它们潜在的相关关系应有所了解。

c. 必须对原始重磁异常作必要的预处理,以消除微商计算对干扰的放大作用。

d. 应多作几个磁化方向的化极计算,选择最佳化极倾角,在火成岩分布区尤要注意。有条件时应适当测定岩石的定向标本磁性,以使化极倾角尽可能反映客观实际情况。

e. 重磁异常对应分析的泊松窗口选择要适当,一般应保证泊松窗口内有5个测点。

f. 对区域性长波长重磁异常进行对应分析时,首先应消除浅部地质体的重磁异常。最好应用高次微商处理后再计算,以压制居里面以下重力异常源的信息。如用化极磁异常的垂向一次微商与重力异常垂向二次微商进行对应分析。

由于资料及笔者水平有限,文中认识难免偏颇。切望指正。

蒋慎君高级工程师对本文提出了宝贵意见,张立公高级工程师审阅了全文,在此特表谢意。



根据 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 移动窗口,泊松相关分析导出的高截滤波($\lambda \leq 8^{\circ}$),负相关系数(-1.0到0),幅度范围=(1.12-1.13),平均幅度=-0.001,上延高度=450公里,等值线网距=0.2

图7 重磁异常相关分析

Fig. 7 Correlation analysis plot

参考文献

- 1 申宁华等. 磁法勘探问题. 地质出版社, 1985
- 2 周熙襄, 等. 重磁资料数据处理方法. 成都地质学院, 1987
- 3 郭武林. 地壳—上地幔深部构造重力模型研究的一些问题. 桂林冶金地质学院报, 1984. 2
- 4 长春地质学院. 重力勘探. 地质出版社, 1980
- 5 Frese, 等. 张曼珠译. 北美区域重磁相关异常. 世界地质, 1985. 1

APPLICATION OF CORRESPONDENCE ANALYSIS TO INTERPRETATION OF GRAVITY AND MAGNETIC ANOMALY IN ZALONG AREA,SONGLIAO BASIN

Liu Shenheng

(814 Team, Huadong Bureau of Non-Ferrometal Geology and Exploration)

Abstract

This paper makes a review of correspondence analysis and presents the results of its application in Zalong Area, Songliao Basin. It is a practical method to reduce solutions in interpretation of gravity and magnetic anomaly and to determine if the normal field is correctly chosen. And it is very useful to understand crust and mantle structures. Attentions which must be paid to the problems of the method are pointed out.

更 正

本刊1992年第2期由于计算机及校对等原因出现差错,须作如下更正:

(1)第48页第4、7、8和11行的“森”均应改为“鲷”字;

(2)第49页倒第7行主“主”字改为主“要”;

(3)第50页第2行的上角注^[4]应改为^[14];

(4)第51页第2行倒第6字“间”应改为“向”。

特向本文作者及广大读者致歉。