第19卷第3期 华东地质学院 学报 Vol. 19 No. 3
1996年9月 Journal of East China Geological Institute Sum 55

利用相关分析划分重力异常

龚育龄
(华东地质学院教务处,江西临川市,34000)

摘要 本文从理论上对相关分析法区分重力异常的可行性进行了论述。并从一元线性回归方程着手,对大地水准面上的重力值与相应的地形高程作了相关分析。通过分析,认为在区域性小比例尺及均衡补偿基本完善的条件下,重力值与高程有极好的线性相关关系;当计算窗口较大时,地下的局部密度不均匀体,不足以破坏重力值与高程的相关性。所以,在实际工作中,利用相关分析处理重力资料的叠加场,可以收到较好的效果,且方法简单易行。

关键词 相关分析;均衡面;布格重力异常;高程;剩余质量
分类号 P312.1

0 引言

当利用区域重力资料研究深部或浅部地质问题时,首先遇到的一个重要问题,就是如何分离叠加重力场。传统的做法是采用各种形式的滤波方式,区分浅源和深源信息。均衡影响的改正则是在艾里或普拉特等地壳均衡模型的基础上进行的。由于不同的地区存在着不同的补偿,而外部补偿与高程有关,在模型中无法予以考虑,因此,用艾里或普拉特模型改正,未必能取得理想的效果。同时,作均衡改正时,均衡面及幔壳密度差也未必能准确确定。

众所周知,在布格重力异常中,由于受外部改正不完善和均衡补偿效应等因素的影响,使异常值与地形高程呈负相关性。因此,有人尝试,在建立布格重力值与地形高程相关关系的基础上,用回归方程求取区域重力值和剩余重力值,从而实现对叠加重力场的分离。

其基本思想是:根据不同地区均衡补偿的特征,建立重力值和高程回归方程,通常为线性回归,即$\triangle g=a+bh$;取一定大小的平滑窗口,计算各窗口内的回归系数a,b和相关系数R;将回归系数代入回归方程,求重力异常的回归值。通常把重力异常的回归值近似地视为与均衡面起伏有关的区域地质信息,而把布格重力值与回归值之差视为反映浅部地质信息的剩余重力值。

但是,从理论上说,与地形高程线性相关的,应该是在外部改正不完善和地壳密度均匀时。其原因是由于均衡面起伏横向密度变化在大地水准面上产生了重力值,而不是布格重力值。这是由于地壳内密度不均匀体的存在,对重力值与高程的相关程度有一定的破坏效应。因此,重力数据处理时,用布格重力值与相应的地形高程作相关分析,仅是一种极为近似的处理方法。

收稿日期:1996-3-10

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

利用这种方法划分叠加异常,是否可行,是本文研究的初衷。

1　地形模型设计

为了探求相关分析法划分叠加场的效果,需要设计几种地形模型,既便于计算,又具有一定的代表性,如图1所示。

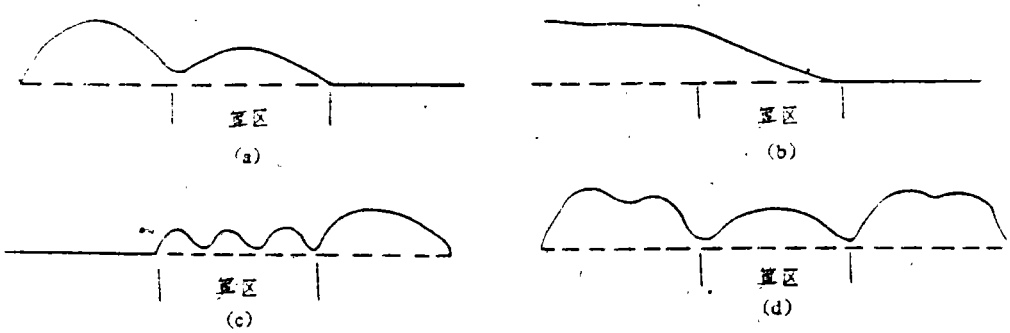


图1　地形模型示意图

Fig. 1 Diagrammatic drawing of topographic model

地形的高程可任意假定。地形的整体抬升只不过相当于加厚了地壳的平均厚度而已,故高程值可按相对高程取值。区内设有50个计算点,点距大小(即窗口大小)可任意选定(本文用1,5,10 km三种点距)。计算区域以外的地形为影响地形,未设计算点。每点只考虑其附近50个点距范围内的地形对计算值的影响,50个点距范围之外的地形对计算值的影响已经很小,可以忽略。

2　数学模型的建立

2.1　均衡面的确定

根据艾里地壳均衡模型所知,均衡面是一个有一定起伏的曲面,这种起伏与地形的起伏呈反对应,即山越高,根越深。

如果取岩石圈的密度为2.67 g/cm^3、岩浆的密度为3.27 g/cm^3,则山根下陷到岩浆中的深度(t)和地面海拔高度(h)之间的关系为:

$$t = 4.45\,h \tag{1}$$

2.2　重力值计算

计算座标系:x轴与计算剖面重合,z轴垂直向下。

均衡影响值计算:当地壳内岩石圈密度均匀时,即剩余密度为0,则可求出各种地形条件下由于均衡面起伏横向密度变化而产生的重力值,即均衡影响值。

若把均衡面看作是一个二维界面,则它与地壳平均深度面可围成一个二度体的多边形截面,如图2所示。

截面在计算点产生的作用值沿走向方向叠加,得均衡影响值。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

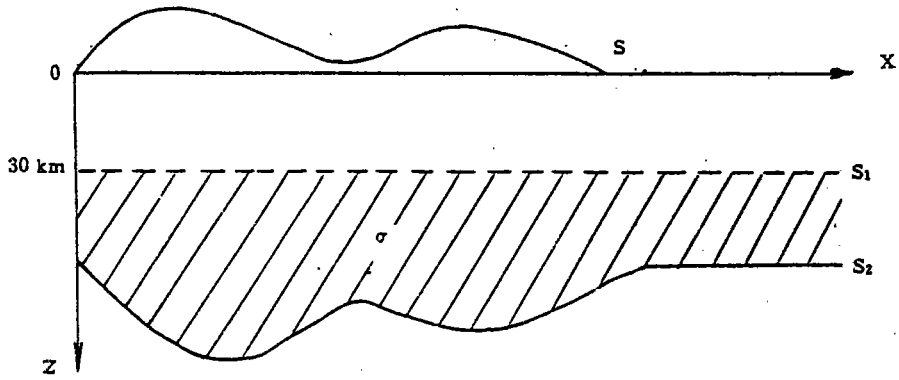


图 2 均衡面与地壳平均深度截面示意图

Fig. 2 Diagrammatic drawing of isostatic plane and the average depth section of crust

若计算点在坐标原点，则均衡影响值的计算公式为：

$$\Delta g = 2G\sigma\sum_{k=1}^{n}\frac{x_k z_{k+1} - x_{k+1}z_k}{(z_{k+1}-z_k)^2+(x_{k+1}-x_k)^2}\left[(x_{k+1}-x_k)\left(\mathrm{tg}^{-1}\frac{z_k}{x_k}-\mathrm{tg}^{-1}\frac{z_{k+1}}{x_{k+1}}\right)\right.$$
$$\left.\mp\frac{1}{2}(z_{k+1}-z_k)\ln\frac{x_{k+1}^2+z_{k+1}^2}{x_k^2+z_k^2}\right] \tag{2}$$

若计算点坐标为(ζ,η)，则表达式为：

$$\Delta g = 2G\sigma\sum_{k=1}^{n}\frac{(x_k-\zeta)(z_{k+1}-\eta)-(x_{k+1}-\zeta)(z_k-\eta)}{(z_{k+1}-z_k)^2-(x_{k+1}-x_k)^2}$$
$$\cdot\left[(x_{k+1}-x_k)\cdot\left(\mathrm{tg}^{-1}\frac{z_k-\eta}{x_k-\zeta}-\mathrm{tg}^{-1}\frac{z_{k+1}-\eta}{x_{k+1}-\zeta}\right)\right.$$
$$\left.+\frac{1}{2}(Z_{k+1}-Z_k)\cdot\ln\frac{(x_{k+1}-\zeta)^2+(z_{k+1}-\eta)^2}{(x_k-\zeta)^2+(z_k-\eta)^2}\right] \tag{3}$$

式中：G 万有引力常数；σ 为剩余密度。

布格重力值计算　当地壳内岩石圈密度不均匀，存在着一定规模和一定密度的剩余质量或局部零星的密度干扰体时，根据任意形体重力异常的正演基本公式，计算剩余质量的作用值，再将均衡影响值与剩余质量的作用值相加，即为布格重力异常值。

3 相关分析

将一组根据地形模型计算出来的均衡影响值或布格重力异常理论值与相应的地形高程作相关分析，算出它们的相关系数 R，其计算公式为：

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n}[(\Delta g_i-\overline{\Delta g})(h_i-\overline{h})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(\Delta g_i-\overline{\Delta g})^2\sum_{i=1}^{n}(h_i-\overline{h})^2}} \tag{4}$$

式中：Δg_i 和 h_i 分别为某点的重力值和高程；$\overline{\Delta g}$ 和 $\overline{h}$ 分别为 Δg 和 h 的平均值。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

同时可算出回归方程中的回归系数 a，b：

$$a = \overline{\triangle g} - b\overline{h} \tag{5}$$

$$b = \sum_{i=1}^{n}[(\triangle g_i - \overline{\triangle g})(h_i - \overline{h})]/\sum_{i=1}^{n}(h_i - \overline{h})^2$$

根据回归方程

$$\triangle g = a + bh \tag{6}$$

求出重力异常的回归值$\triangle g'_{回}$。以上各项计算均可在计算机上完成。

4　结果分析及相关性解释

表 1 列举了 4 种不同地形条件、不同点距的相关系数计算结果。

表 1　几种地形和点距条件下的$\triangle g \sim h$ 相关系数值

Tab. 1 $\triangle g \sim h$ correlation coefficient under several topography and point distance conditions

R 值 / 点距 / 地形	1 km	5 km	10 km
a	−0.16	−0.87	−0.95
b	−0.93	−0.98	−0.99
c	−0.004 3	−0.58	−0.93
d	0.91	−0.43	−0.96

4.1　a 类地形

此类地形的特点是：区内是单一向上凸起的地形，两侧对地形高程的影响是，一边大于区内，另一边相对为 0。由表中数据可知：$\triangle g \sim h$ 呈负相关关系。当点距为 1 km 时，$|R| = 0.16$；当点距为 5 km 或 10 km 时，$|R|$ 为 0.87 或 0.95。这说明点距的大小对$\triangle g \sim h$ 的相关程度有直接的影响，即点距越大，相关性越好。这是因为点距越大，在一下范围内地形的平滑程度越高，地形相对平缓，故$\triangle g \sim h$ 相关性越好。

4.2　b 类地形

这是一种比较简单的地形，区内是单斜地形，区外地形近于水平。由计算结果可以看出，无论点距大小如何，$\triangle g \sim h$ 的相关系数都很大。当点距为 1 km 时，$|R| = 0.93$；当点距为 10 km 时，$|R| = 0.99$，故相关程度很高。表明在同等的条件下，地形越简单，$\triangle g \sim h$ 的相关性越好。

4.3　c 类地形

该地形较以上两种地形更复杂，区内地形多折起伏。由表 1 可以看出，$\triangle g \sim h$ 的相关性也与计算点距的大小有关，且规律相同。不同的是，在同等点距条件下，该地形的$\triangle g \sim h$ 相关系数绝对值比上面两种地形更小，说明复杂的地形会使$\triangle g \sim h$ 的相关性变差。但是，只要适当选择平滑窗口，就能使$\triangle g \sim h$ 达到较高的相关程度。

4.4　d 类地形

此类地形的特点是：区外两侧的影响地形较复杂，且高度较区内更大。由表 1 可以看出，在该地形条件下，$\triangle g \sim h$ 的相关性较复杂。当点距为 1 km 时，$\triangle g \sim h$ 为正相关。这是由于区外较复杂的地形影响所致。当点距为 10 km 时，$|R| = 0.96$，$\triangle g \sim h$ 相关很好，说明点距加大，也可减小区外地形对$\triangle g \sim h$ 相关性的影响。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4.5 地下密度干扰体对$\triangle g \sim h$相关性的影响

上面分析的是地下密度均匀，且均衡补偿基本完善时，均衡影响值和地形高程的相关性。假设地下存在一些零星的密度干扰体，干扰体截面直径不超过 2 km，剩余密度为 0.1 或 0.4 g/cm³。计算剖面上的布格重力异常值($\triangle g_{布}$)，并作$\triangle g_{布} \sim h$的相关分析。表 2 列举了几种情况下$\triangle g_{布} \sim h$的相关系数，由此可见，$\triangle g_{布} \sim h$的相关性随着剩余密度的增加而变差，但点距加大时，又大大减小密度干扰体对重力值与高程的相关性的影响。这是因为加大点距，一些局部异常的干扰被平滑的缘故。

表 2 $\triangle g_{布} \sim h$ 相关系数值

Tab. 2 $\triangle g$(Bouguer)$\sim h$ correlation coefficient value

R 值 / 剩余密度 / 点距	σ=0 g/cm³	σ=0.1 g/cm³	σ=0.4 g/cm³
5 km	−0.58	−0.53	−0.31
10 km	−0.93	−0.90	−0.85

表 3 分别列出了均衡影响值和布格重力异常值与地形高程作相关分析求得的重力异常回归值。表 3 可以看出，两组回归值基本一致，仅在 6 号至 12 号各点的回归值有所差别，其中 8 号点相差最大，差值为 32 g.u.，相对误差小于 13%，这是由于干扰体离 8 号点最近所致。由此可见，地下局部密度干扰体的存在对相关分析有一定的影响；重力异常回归值压制了局部地质信息，而反映的是区域地质信息。

5 实例说明*

图 3 是江西布格重力异常等值图。其重力异常是利用 5×5 点进行圆滑处理的。

根据这些实际资料，经一元线性回归分析求得重力异常的回归值$\triangle g_{回}$。

利用式(5)和式(6)，按 9×9 的窗口，以 10 km 的步长移动窗口，取窗口中心点上之高程为 h 值，计算重力异常的回归值$\triangle g_{回}$，并绘制成平面等值图，得到图 4。

由图看出，回归分析的实质就是“低通滤波”过程，低频信息相对增强，高频信息相对减弱。从图 4 中可以划分出 4 个大的异常单元，其中 3 个为低重力异常，1 个为高重力异常。这些异常单元反映的是区域性的深部地质信息，而对于小而浅的地质信息被大大减弱。它真实地反映了江西区域布格重力异常的基本特征。

6 结论

纵观上述分析得出，当满足一定的相关条件时，利用相关分析的方法划分叠加重力场，是能够取得较好的效果的。

一般认为布格异常与高程呈负相关关系，相关系数$|R|$的大小，反映了$\triangle g \sim h$相关性的好坏；显然，$|R|$越小，表明$\triangle g \sim h$相关性越差，其划分的叠加场的效果也一定很差。通常认为，当$|R|<0.5$时，方法的可信程度较小，则不宜选用。一个地区$\triangle g \sim h$相关性的好坏，与下列因

* 引用黎春华的《江西布格重力异常的浅部剩余异常研究及其找矿应用研究》报告 P10～12

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

素有关:

(1)与点距有关。点距越大,$\triangle g \sim h$ 相关程度越高。故该方法适用于研究小比例尺的区域地质问题。

表 3　重力异常的回归值(单位:g.u)

Tab. 3 Regression value of gravity anomaly

点号	$\sigma=0$ g/cm³	$\sigma=0.1$ g/cm³	点号	$\sigma=0$ g/cm³	$\sigma=0.1$ g/cm³
	$\triangle g_{回}$	$\triangle g_{回}$		$\triangle g_{回}$	$\triangle g_{回}$
0	−121.0	−121.0	26	−122.9	−122.9
1	−122.5	−122.5	27	−119.2	−119.2
2	−125.5	−125.4	28	−115.6	−115.6
3	−129.3	−129.2	29	−112.9	−112.9
4	−133.6	−133.4	30	−111.5	−111.5
5	−137.6	−137.4	31	−111.5	−111.5
6	−141.2	−140.5	32	−113.1	−113.1
7	−143.5	−141.0	33	−115.8	−115.8
8	−144.4	−112.4	34	−119.2	−119.2
9	−143.7	−140.2	35	−122.6	−122.6
10	−141.6	−140.7	36	−125.6	−125.6
11	−138.1	−137.7	37	−127.6	−127.6
12	−133.8	−133.6	38	−128.4	−128.4
13	−129.2	−129.2	39	−122.6	−122.6
14	−125.0	−124.9	40	−125.4	−125.4
15	−121.6	−121.5	41	−121.7	−121.7
16	−119.6	−119.5	42	−118.6	−118.6
17	−119.1	−119.0	43	−110.4	−110.4
18	−120.0	−120.0	44	−103.4	−103.4
19	−122.0	−122.0	45	−95.7	−95.7
20	−124.7	−124.7	46	−87.8	−87.8
21	−127.2	−127.2	47	−79.9	−79.9
22	−128.9	−128.9	48	−72.5	−72.5
23	−129.4	−129.3	49	−65.8	−65.8
24	−128.4	−128.4			
25	−126.2	−126.1			

(2)与地形条件有关。地形越平滑,起伏越小,$\triangle g \sim h$ 相关程度越高,方法的应用效果就越好。

(3)与地壳均衡补偿条件有关。在地壳均衡补偿不完善的地区,不宜采用该方法。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

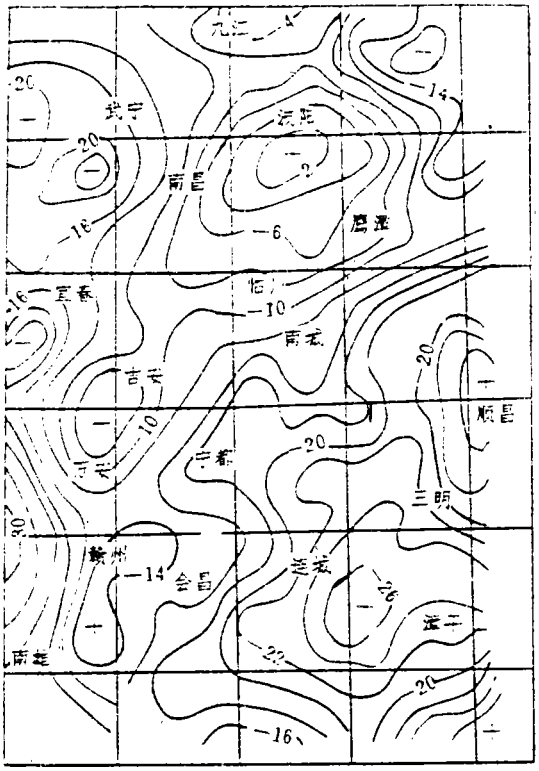


图3　江西1:100万布格重力异常平面等值图

Fig. 3 Plane equal-value map of 1 : 100 Bouguer gravity anomaly

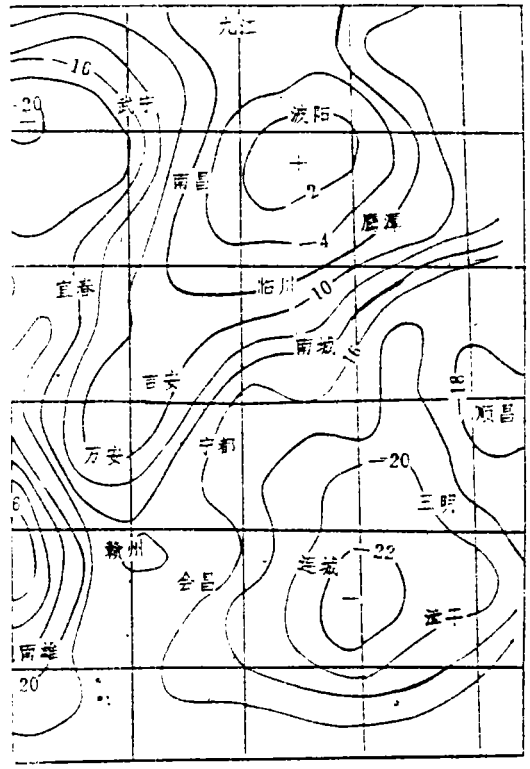


图4　布格重力异常的回归值平面等值图

Fig. 4 Plane equal-value map of regression value of Bouguer gravity anomaly

(4)与地下局部密度不均匀体的分布、规模、剩余密度及深度等有关。但实际工作过程是对布格异常与高程进行一元一次回归分析的过程，其实质是提取区域重力异常信息，压制随机干扰的过程。因此，对于小比例尺的区域重力资料，只要平滑窗口选取得适当，其局部干扰体对$\triangle g \sim h$相关性的影响并不大。

参考文献

1 罗孝宽. 应用地球物理教程—重力、磁法. 北京：地质出版社，1991. 57～134

2　朱文孝等. 重磁资料电算处理与解释方法. 武汉：中国地质大学出版社，1989. 14～62

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Dividing Gravity Anomaly by Use of Correlation Analysis

Gong Yulin

(Dean's office, East China Geological Institute, Linchuan, Jiangxi 344000)

ABSTRACT This paper theoretical studies the feasibility of gravity anomaly divided by means of correlation analysis method. It is made that the correlation analysis of gravity value on geoid and its topographic elevation by use of univariate linear regression equation . The results show that there is perfect Linear correlation relation between gravity value and elevation under the conditions of areal small scale and perfect isostatic compensation. When there is bigger compute window, undergroud partial uneven body of density can not destroy the correlation relation between gravity and elevation. It can get a good effect that dealing With the superposed field of gravity data by use of correlation analysis, and the method is easy and feasible.

KEY WORDS correlation analysis; Bouguer anomaly; gravity anomaly; elevation; residual mass

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net