

# 布格异常及均衡异常物理意义的探讨

## 1 前言

一百多年来布格重力异常及均衡重力异常的概念与物理意义的认识在不断深化,今天继续深入研究它们的物理意义,对于探讨地壳运动及地震发生的根本原因,仍然有着很重要的现实意义与科学价值。

## 2 布格重力异常的客观性

众所周知,地球上普遍存在着强弱不一的布格重力异常区或异常带。但是布格重力异常究竟是不是客观存在的物理量呢?为了深入研究这个基本的概念问题,首先从布格重力异常的定义来讨论。布格异常的数学表达式为:

$$\Delta g_{Bu} = (g_{观} + g_{高} - g_{中} - g_{形}) - g_0 \quad (1)$$

亦即仪器在地面各点实测重力值经高度校正、中间层校正、高低不平的地形校正后再减去参考椭球面上相应的重力理论值而得到的差值,差值为正就得到布格重力正异常,差值为负就得到布格重力负异常。

(1)式是将观测值归算到海平面得出的海平面布格重力异常值。但也可以将观测值归算到测点进行计算,其表达式为:

$$\Delta g_{Bu} = g_{观} - (g_0 - g_{高} + g_{中} + g_{形}) \quad (2)$$

不难理解,(1)式与(2)式是完全相同的两个等式。由此得到一个重要的结论:布格重力异常的大小不会依观测点的高度变化及归算的重力等位面的高低而变化。因此一旦测到布格异常,则说明它是客观存在的。

$g_0$ 是等密度面、等压面、等位面都相重合的理想状态的地球椭球体的重力理论值。布格重力异常就是相对这样一个理想结构的地球所具有的标准重力理论值而比较出来的异常值。因此布格重力异常在理论上是唯一的,并不是相对多变的量。

布格重力异常普遍地显出与地形的相关性。在山区的异常值往往是负的,并且地形越高,负异常的绝对值越大,而在海洋地区的异常值往往是正的,并且海水越深异常值越大。

## 3 均衡重力异常的客观意义

均衡重力异常是与地壳垂向的重力均衡补偿运动密切相关。在地壳厚薄不同的地区,由于静压力不平衡,地壳物质在重力作用下会产生垂向均衡补偿运动。在压力大的地区,也是地壳厚的地区,地壳就会向下缓慢地挤入上地幔中去,地壳的莫氏面向下凹,地壳越厚,凹得越深,如图1所示,地壳伸向上地幔的深度  $t$  为地形海拔高度  $h$  的4.45倍时,重力均衡补偿运动才会停止;在压力小的地区,也就是地壳薄的地区,地壳莫氏面向上凸,地壳越薄,凸得越高,直至上地幔伸向地壳的高度  $t$  为海水深度  $h$  的2.73倍为止。其驱动力是垂向静压应力差。当垂向静压差平衡了,地壳垂向均衡补偿运动也就终止了。

为了研究地壳重力均衡运动的补偿程度,人们常常从重力的角度去研究,这就引入了重

力均衡的概念。其表达式为:

$$\Delta g_i = \Delta g_{Bi} + \sigma_i \quad (3)$$

式中 $\Delta g_i$ 是均衡重力异常,  $\Delta g_{Bi}$ 是布格重力异常,  $\sigma_i$ 是垂向补偿运动后的地壳重力与正常厚度时的地壳重力的差。由于布格重力异常与地壳厚度有很好的普遍对应关系, 因此在计算均衡重力异常时, 一般在布格负异常地区就加上 $\sigma_i$ , 在布格正异常地区就减去 $\sigma_i$ 。

从 $\Delta g_i$ 的大小可以研究地壳重力均衡运动的补偿程度, 当 $\Delta g_i$ 接近零时, 则认为均衡补偿运动比较完全, 此时有:

$$\sigma_i = 2\pi G(3.27 - 2.67) \times 4.45h \quad (4)$$

在附加地形高低变化的重力忽略不计的情况下, 就有下式成立:

$$\Delta g_i = g_{\text{理}} + 2\pi G(3.27 - 2.67) \times 4.45h - g_{\text{中}} + g_{\text{高}} - g_0 \quad (5)$$

$$\text{因为} \quad 2\pi G(3.27 - 2.67) \times 4.45h = 2\pi G(2.67)h = g_{\text{中}} \quad (6)$$

$$\text{所以} \quad g_{\text{理}} = (g_{\text{理}} + \sigma_i - g_{\text{中}}) = g_{\text{理}} \quad (7)$$

(7)式中 $g_{\text{理}}$ 是已消除地壳厚度的重力影响,  $g_{\text{理}}$ 是没有消除地形高度中间层及地壳莫氏面深度变化的重力影响, 因此 $g_{\text{理}}$ 与 $g_{\text{理}}$ 含义是不同的。但在地壳均衡补偿完全的情况下, 由(7)式可以看出,  $g_{\text{理}}$ 与 $g_{\text{理}}$ 在数值上却是相等的。另一方面, 由于 $g_{\text{理}}$ 是消除了地形及补偿的重力变化, 不难看出在理论上应当有下式成立:

$$g_{\text{理}} - g_{\text{高}} = g_0 \quad (8)$$

将以上结果代入(5)式得

$$\Delta g_i = g_{\text{理}} + \sigma_i - g_{\text{中}} + g_{\text{高}} - g_0 \approx 0 \quad (9)$$

以上就是当陆壳重力均衡补偿比较完全时,  $\Delta g_i$ 等于零(或接近于零)的理论证明。

由于地壳均衡补偿完全时就有(8)式的成立, 因此(8)式就是人们常用空气重力异常是否接近于零值来判断某地区地壳的重力均衡补偿是否完全的理论依据。

同样的道理可知, 当均衡异常 $\Delta g_i$ 是很大的正值时, 则对于山区地壳来讲可能是补偿过剩, 对于海洋地壳来讲可能是补偿不足; 如果均衡异常是一个绝对值很大的负值时, 则对于山区来讲可能是补偿不足, 对于海洋来讲, 可能是补偿过剩。因此从研究均衡重力异常的大小, 可以大致判断该地区地壳重力静压均衡补偿的程度, 但并不是完全确切的手段。

#### 4 布格异常和均衡异常与地壳均衡运动的关系

布格异常是相对于标准椭球重力等位面所显现出来的重力异常, 它的存在会使正常的重力水准面发生畸变。在布格重力负异常存在的地区, 重力水准面是发生了凹向畸变, 表示

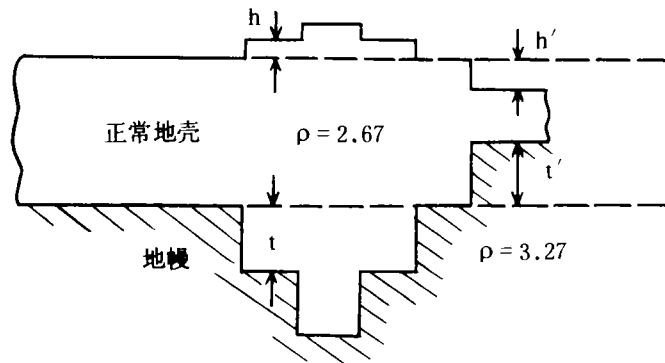


图1 地壳重力均衡补偿示意图

地壳物质亏损;在布格重力正异常存在的地区,重力水准面发生了凸向畸变,表示地壳物质过剩。带谐和田谐函数地球重力位面就已粗略地证实了这种畸变的存在。因此在这些重力畸变的地区,地壳受到了布格重力异常所产生的强大的不平衡的作用力。其最大值可达 $10^4-10^5\text{Pa}$ ,这是目前所知作用于地壳与岩层的任何其它外力所无法比拟的强大作用力。此力足以推动地壳的垂向运动;在布格重力负异常的地区,推动地壳不断上升、加厚,以补充地壳物质的亏损,在布格重力正异常的地区,推动地壳不断下降、变薄,以使地壳过剩的物质得到疏散。这就是真正的地壳物质的重力均衡运动,其升降的速率与布格异常值大小存在有线性关系。由此可知,地壳在布格重力异常力推动下的重力均衡运动及地壳在重力作用下的重力均衡补偿运动便构成了地壳的各种复杂构造运动并使地震不断发生。但是均衡重力异常是否也是推动地壳运动的动力来源呢?这是一个很重要的理论概念问题。

由以上讨论知道:均衡重力异常是为了研究地壳在垂向上的重力静压均衡补偿状况而引入的概念。均衡重力异常的大小仅仅是研究地壳垂向均衡补偿运动状况的一种判别手段,并不是一种严格的直接标志。如果补偿平衡了,说明重力静压差也基本平衡了,此时的均衡补偿运动也就基本终止了。均衡重力异常完全不表征地球局部重力水准面是否发生了畸变,也就是说,地球重力等位面畸变与否,与均衡重力异常的大小没有直接的关系。均衡重力异常是一个数学量,只具有数学上的意义,根据数字的大小来判断地壳的垂向均衡补偿状况。但是它并不是一个客观实在的物理量,因此不能对地壳岩层产生实际的作用力,更不是地壳垂向均衡补偿运动驱动力的来源。地壳垂向均衡补偿运动是由重力作用下所产生的垂向压力差来推动的,并不是由均衡重力异常推动的。而布格重力异常既是地壳垂向(也有水平向)均衡运动的推动力的主要来源,也是地球重力水准面是否均衡的直接标志。因此布格重力异常与均衡重力异常是具有完全不同含义的两个量。深入研究它们的共性与个性及其作用,对研究地壳运动及地震发生的规律有着十分重要的现实意义和科学价值。

(本文1994年2月25日收到)

(湖南省地震办公室 周友华)

### 主要参考文献

- 1 张少泉.《地球物理学概念》,地震出版社,1988
- 2 傅承义.《地球十讲》,科学出版社,1976
- 3 D·S 帕拉尼斯.《应用地球物理学原理》(刘光鼎译),地质出版社,1974

### ON THE PHYSICAL DEFINITION OF BOUGUER AND ISOSTATIC ANOMALIES

Zhou Youhua

(Seismological Office of Hunan Province, Changsha 410001)