

地壳均衡假说与湘西北地壳均衡失调探讨

谢湘雄 顾剑虹

(长沙工程学校 湖南 长沙 410114)

摘 要 : 由湖南省 1:100 万 $10' \times 15'$ 平均均衡重力异常图知 , 湘西北地区呈重力高 , 除此以外的广大地区 , 当消除花岗岩对应的局部重力低外 , 均衡异常基本呈零值特征。笔者认为这是湖南全省的地壳均衡失调区 , 并从 5 个方面对该问题进行了分析。

关键词 地壳均衡 均衡重力异常 均衡失调 艾里假说 普拉特假说 维宁—海涅斯假说

中图分类号 : P631.1 文献标识码 : A 文章编号 : 1000 - 8918(2002)03 - 0171 - 04

地球物理勘查为地壳均衡研究提供了重要的实测资料 , 特别是小比例尺均衡重力异常可以直接反映地壳均衡补偿状态。解放前湖南省没有进行过重力测量。共和国成立后 , 特别是 70 ~ 80 年代 , 全省完成了 1:50 万重力资料覆盖。笔者从 1986 年编制的湖南第一张 1:100 万均衡重力异常图上发现湘西北地区呈北东向重力高异常区 ; 1989 年曾在全省区域重磁成果的研究报告中对该区地壳失衡阐述过自己的观点 , 现撰此文探讨湘西北地区地壳均衡失调的问题。

1 地壳均衡假说

地壳均衡意指地壳的各个地块在一定的深度处于等压力状态。地壳均衡假说是基于流体静力平衡原理的一种对地壳构造进行解释的理论。它是 19 世纪中叶为解释喜马拉雅山南麓的铅垂线偏差而首次提出来的观点 , 今天它能较正确地反映出地壳结构的部分真实情况 , 并已被越来越多的地球物理资料(如重力资料、地震资料等)所证实 , 因此愈来愈受到了人们的重视。

早在 18 世纪初 , 人们就察觉到垂线偏差受地形

起伏的影响 , 但当时只是抓住现象 , 没触及问题的实质。到 1855 年 , 英国大地测量学家在印度进行三角测量时 , 再次发现这一现象 , 且愈向北推进 , 铅垂线的偏差愈大。当时由普拉特负责进行实际的计算来验证垂线的倾斜是由北边喜马拉雅山的引力所产生的假设。结果完全出乎意料 , 计算值比实测偏差值大得多 , 例如在达马尔吉他点(纬度 $58^{\circ}03'$) 的计算值为 $27.9''$, 而实测偏差值仅为 $3.8''$ 。这个问题引起不少学者的思考 , 不久艾里解释了这种现象。他认为在喜马拉雅山的下面质量是不足的 , 还提出了相应的地壳构造理论——艾里均衡假说 : 地壳是由密度较大的深部岩浆支撑着 , 高山和大陆漂浮在这种岩浆上 , 并处于平衡状态。若将地壳切成许多截面相等的垂直柱体 , 并设其密度相同(平均为 2.67 g/cm^3) , 它们高出大地水准面的凸起部分和陷入深部岩浆的凹下部分是相对应的 , 凸起越高 , 则陷入越深。显然山区陷入一定较深 , 海洋区和平原区陷入一定较浅。地壳质量的过剩和不足是由各个柱体下面较重的岩浆面位置的高低来补偿的。他说明通过最深柱体的底面就是等压力均衡面(图 1a)。普拉特起先反对艾里的假说 , 后来却提出了在地壳构造

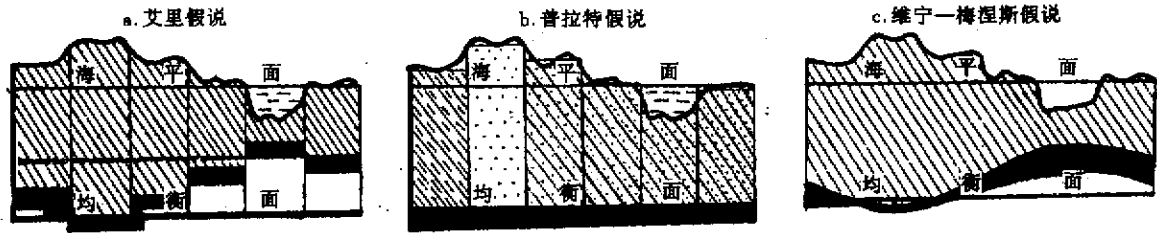


图 1 地壳均衡假说的几种模式

方面稍有不同——普拉特假说:在地下某一深处有一等压面,即均衡面,由海平面至等压面的距离几乎处处相等,由此面向上的每一个地壳垂直柱体(截面相等)的密度互不相同(同一柱体相同),在山区柱体密度要小些,而平原和海洋柱体密度要大些,但各个柱体的总质量相等(图 1b)。在艾里假说的基础上维宁—梅涅斯发展了一步,提出了第 3 种均衡假说:物质补偿是以区域性的规模进行的,由于地壳的弹性弯曲,不宜将地壳划分为垂直柱岩体,而应将其密度和厚度都看成是渐变的(图 1c)。图上地壳的底界面就是莫霍面。可见,莫霍面的起伏影响着地壳均衡力。因此,在地壳均衡的情况下,它基本上与地形起伏成镜像对应。

考虑到地壳形成过程中凝聚力的影响和密度变化的客观情况,这 3 种均衡假说中,维宁—梅涅斯假说似乎更为合理。

2 均衡重力异常与地壳的关系

研究区域性的地壳均衡状态,比较重要的资料是小比例尺的均衡重力异常。均衡重力异常可以根据布格重力异常再进行一次均衡改正获得,即

$$\Delta g_{\text{均异}} = \Delta g_{\text{布异}} + \delta g_{\text{均改}} \quad (1)$$

均衡改正的本质就是除考虑大地水准面以上地形起伏影响质量差异外,还要考虑水准面到均衡面之间的地壳密度补偿的影响。均衡改正的计算方法和改正值大小与采用何种均衡假说有关。

地壳均衡补偿程度不同,导致均衡重力异常相异。若没有其他因素干扰,则当地壳完全处于均衡状态时,区域性平均均衡重力异常应接近于零(考虑到均衡重力异常的各种计算误差,将 $10' \times 15'$ 平均均衡重力异常图中等值线小或等于 $\pm 10 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 范围视为准零值区),反之,地面将观测到较大的或正或负的均衡重力异常值。正的均衡重力异常表示补偿过剩,负异常表示补偿不足,都反映了地壳处于均衡失调状态。所以,一个地区编制了小比例尺均衡重力异常图后,可根据各处均衡异常的大小来判断该处地壳深部是否处于均衡补偿状态。

实测资料表明,全球不同地区的地壳均衡状态并不一致。如在太平洋和大西洋的深海区、大陆的一些古老地台区,地壳均接近均衡状态,因此,实测的均衡重力异常很小(图 2)。但在某些年轻的高山区(如喜马拉雅山和阿尔卑斯山)及某些深海沟(如邻近东亚大陆的深海沟),观测到绝对值较大的均衡重力异常

重力异常或自由空气异常,表明地壳在这些地区远未达到均衡状态,因此产生恢复均衡的地壳运动。

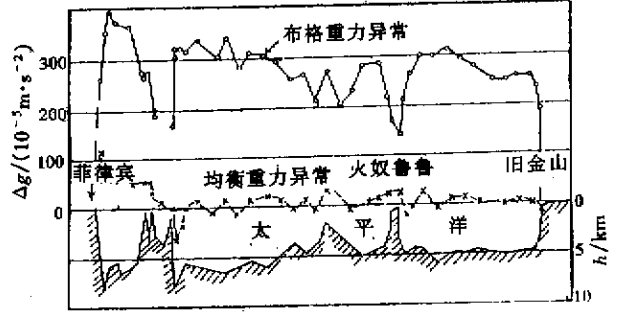


图 2 横贯太平洋的重力异常和海底地形剖面示意

综上所述,研究均衡重力异常有助于了解地壳构造运动特点,尤其是新构造运动的特点。

3 湘西北地壳均衡失调的证据分析

3.1 证据一

纵观湖南省 $1:100$ 万 $10' \times 15'$ 平均均衡重力异常图(图 3),全省除了大片花岗岩侵入形成的局部封闭型负值均衡重力低异常外(相当剩余异常),基本上是 $\pm 10 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 的准零值区,表明这些地区基本处于均衡状态。但是湘西北例外,在麻阳—沅陵—慈利—石门一带出现一个北东走向的正均衡重力异常十分明显,其峰值达到 $40 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,宽为 $60 \sim 150 \text{ km}$,长约 350 km ,面积达 3.5 万 km^2 ,规模之大不容忽视。

严格地讲,均衡重力异常除了反映地壳均衡状态以外,还可由地幔密度异常和壳内局部密度变异引起,它们分别表现为长波长和短波长均衡重力异常。而湘西北正均衡重力异常既不是前者,更不是后者,它是中波长异常。这正反映了地壳均衡失调的存在。

湘西北正均衡异常不像是地幔密度不均匀引起的长波长区域异常。这类异常又可分为 2 级。第一级是 16 阶球谐函数推导的卫星重力异常,它是全球性的区域重力异常,波长在 1000 km 以上,异常源深度为 300 km 以下,主要反映深部地幔结构变化,与地壳结构变化和均衡状态无关。这种异常只有全国或洲际大范围均衡图上才有显示。在一级区域异常的背景上可划分出强度较大的第二级区域异常,它的波长数百公里,水平梯度较小(均为 $0.15 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$),幅度在 $30 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 以下,异常源深度在 200 km 左右的上地幔中。此类异常反映上地幔横向密度不均匀,并与大区域构造活动有一定的关系。在中国均衡重力异常图上可划分出 3 个区:

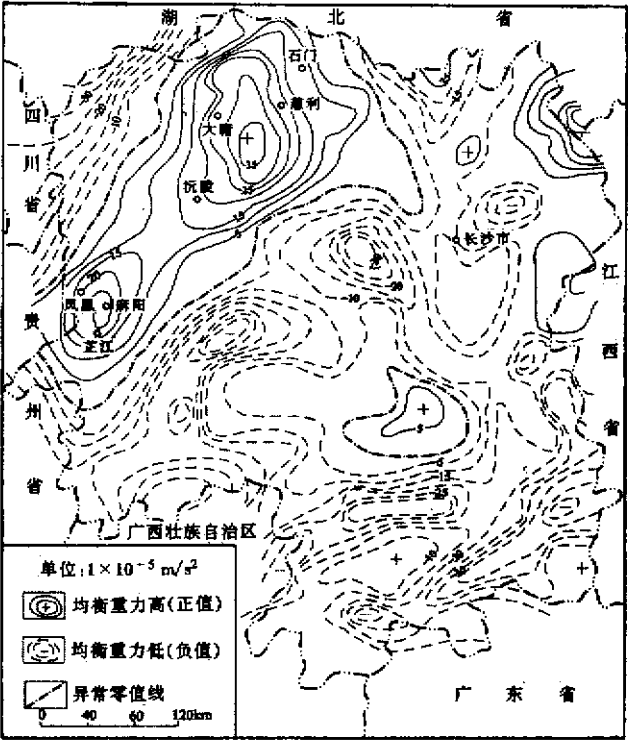


图 3 湖南省 10' × 15' 平均均衡重力异常

东部为正异常区,西北和中部为负异常区,青藏高原为正异常区。在湖南省的均衡重力异常图上很难反映出其特征。

湘西北正均衡重力异常带不像是壳内局部密度变异引起的短波长异常。据国外资料,在数百公里范围内不可能长期集中超过 10 kg/cm² 的负荷,它相当于几毫伽的重力异常值,而实际观察到的局部异常大大超过此数值,因此难以存在中、长波长的壳内局部密度变化。一般十几至几十公里的短波长异常呈明显的局部圈闭状,多半反映地壳局部密度变化,如全省均衡重力异常图上与大片出露花岗岩对应的负均衡重力异常就是这种短波长异常(实质上就是剩余重力异常),它不可能反映地壳均衡特征。

综上所述,湘西北正均衡异常带既不是反映深部地幔密度结构的长波长异常,也不是反映壳内密度局部变异引起的短波长异常,所以,判定它是反映地壳均衡状态的中波长异常。它的出现,说明湖南省西北地区(麻阳、凤凰—沅陵—大庸、慈利—石门一带,包括武陵山脉)的地壳均衡失调。再者,有资料表明,1° × 1° 平均均衡重力异常在一定程度上消除了地壳局部变异短波长异常,而保留了中、长波长重力效应。1:200 万华南均衡重力异常图反映出湘西北正均衡重力异常是完整的,这也佐证它不是壳内局部密度不均之反映。

3.2 证据二

据维宁—海涅斯假说对艾里模式的补充理论知,地壳近似刚性的弹性板,受山脉重压向下呈弹性弯曲(图 4),弯曲程度取决于岩石圈的弹性模量、厚度和地壳物质密度。其最小弹性弯曲线度为 125 ~ 200 km,其面积为(1.4 ~ 5)万 km²。湘西北正均衡异常的规模与此基本量级相当,特征相符合。

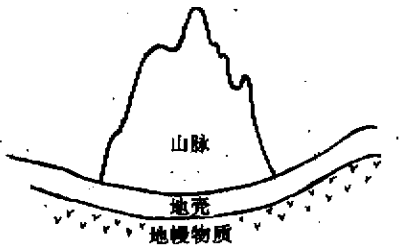


图 4 地壳弹性弯曲示意

3.3 证据三

均衡异常是否与地形质量的补偿不足或过剩有关,可以研究均衡异常与地形高程的相关关系。笔者将湘西北地区均衡重力异常与地形高程进行回归分析,得到线性相关公式:

$$\Delta g_{\text{均}} = 6.6785 - 0.0138h. \quad (2)$$

由(2)式可知,均衡异常 $\Delta g_{\text{均}}$ 与高程的相关性很弱,经计算相关系数 $R = -0.2795$,说明这个地区偏离

均衡度较大 换言之 此区处于非均衡状态。

3.4 证据四

湖南省布格重力异常与高程相关分析表明 相关系数 $R = -0.79$,说明全省总体是接近均衡的 ,这与前述结论一致。但是从全省分区散点图统计结果看 湘西北小区及沅麻盆地小区高度离散 相关系数很小 仅 $0.2 \sim 0.5$,这也从另一角度佐证了该区是均衡失调的。

3.5 证据五

从构造角度看 均衡失调区的新构造运动必定活跃。湘西北正均衡异常区正是张家界景区的所在地 该区的砂岩峰林和层叠洞穴景观就是在近代地壳间歇性抬升的背景下形成的 还有澧水沿岸 $5 \sim 7$ 级阶地以及慈利、石门等地的澧水北岸 在海拔 $300 \sim 500\text{ m}$ 的丘陵山顶常见到砾石残留层(最大厚度为 10 m)。以上地质、地貌特征均说明此区以地壳抬升为主的新构造运动很强烈 正是它破坏了该区地壳的均衡状态 而且这种破坏过程尚未结束。因为正均衡异常反映地壳补偿过剩 说明武陵山的“山根”过浅 因此均衡调整的均衡力应使该区地壳下降。而实际上地壳是在上升 说明对抗均衡力的地壳上升运动在现阶段仍是本区主要的地壳变形形式 不均衡状态势必导致均衡运动的产生 因此预测当未来均衡力逐渐处于主导地位时 该区地壳将转

为下降运动 以达到均衡补偿 因为地壳均衡补偿是地壳运动的总趋势。

4 结语

地壳均衡和均衡失调是一个互相制约的复杂的地质构造变化过程。就全球范围而言 随着冰川融化和山脉破坏等 地壳的均衡会不断地遭到破坏 而形成均衡失调。另一方面 均衡失调状态势必导致恢复均衡的地壳运动产生。通过大面积的、长期的地壳深部物质的水平移动和垂直升降运动 又会使不均衡地区逐渐趋于均衡。因此 利用重力资料研究地壳均衡问题 仅有重力异常在空间的分布资料是不够的 还必须研究重力异常分布随时间的变化。然而 解放前湖南省缺少湘西北历史上的重力资料 无法对比。

参考文献：

[1] 萧敬涌,周国藩,林振民,等.重力勘探资料解释手册[M].北京:地质出版社,1983.
[2] 王懋基,程振炎.均衡异常与地质结构[J].地质学报,1982,56(1).
[3] 谢湘雄.湖南省区域重力调查成果及研究[A].区域重力调查专刊[C].北京:地质出版社,1999,140-152.
[4] Ващилов Ю.Я. Глубинные гравиметрические исследования[J]. Геология и геофизика,1973(3).

ISOSTATIC HYPOTHESIS AND AN INVESTIGATION OF ISOSTASY DISLOCATION

XIE Xiang-xiong, GU Jian-hong

(Changsha Engineering School, Changsha 410114, China)

Abstract : It is known from the $1:1\,000\,000\ 10' \times 15'$ average isostatic gravity map that the northwestern Hunan area assumes gravity high, and the other vast areas are basically characterized by zero isostatic anomaly if the local gravity low corresponding to granite is eliminated. The authors consider the northwestern Hunan area to be the isostatic dislocation area in Hunan Province, and make an analysis of this problem from five aspects.

Key words : isostasy; isostatic gravity anomaly; isostasy dislocation; Airy hypothesis; Pratt hypothesis; Vening Meinesz hypothesis

作者简介:谢湘雄(1936-)男,湖南长沙人,教授级高工。1960年毕业于长春地质学院,在湖南地质局物探队长期从事重力勘探的生产及科研工作。1987,1991,1998年三次荣获地矿部科技成果二等奖。发表论文50余篇。