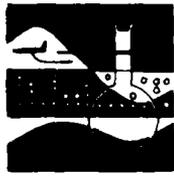


## 江苏地区莫霍面与地壳均衡特征初探

童永春

(华东有色金属地质勘探公司814队)



物探与化探

本文利用地球陆壳和洋壳的简单模型,分析地壳均衡的一般表达式,并讨论区内地震活动,推覆体构造以及金属矿产分布等,与深部地壳结构的对应关系。

观测表明,大地水准面的形状与大陆和海洋无关,而且与旋转椭球形状的偏差很小,约小于扁率的千分之几或更小。由此说明,深部的质量补偿了表面形状对大地水准面的影响。根据板块学说,地壳和地幔的最上部分,可分为少数几块薄的、刚性的球面顶盖或板块(岩石圈),覆于上地幔的软流圈之上。一种简单的模型如图1所示。密度为 $\rho_c$ 、厚度为 $(d+h)$ 的大陆,覆盖在密度为 $\rho_m$ 的地幔上,并且同密度为 $\rho_o$ 、厚度为 $t$ 的海洋地壳均衡。根据地球表面形状不改变大地水准面原来扁度(约 $1/298.25$ )的条件,令大陆的转动惯量等于相应的海洋地壳和地幔的转动惯量:

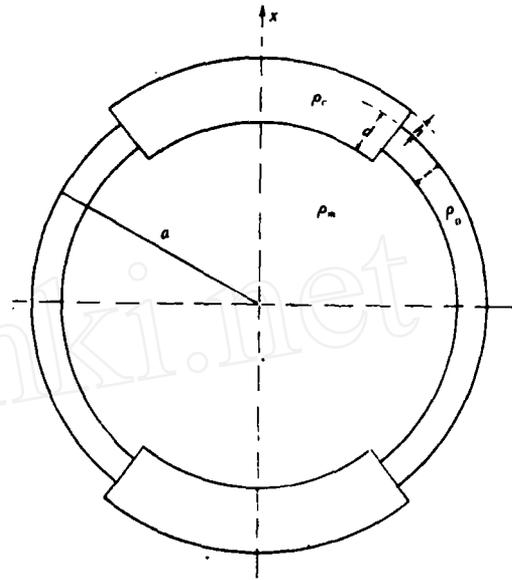


图1 陆块对大地水准面影响的模型示意图

$$2 \int_{a-h}^{a+h} (\pi r^2 \rho_c) x^2 dx = 2 \int_{a-d}^{a-1} (\pi r^2 \rho_m) x^2 dx + 2 \int_{a-1}^a (\pi r^2 \rho_o) x^2 dx \quad (1)$$

因为 $a$ 远大于 $(d+h)$ , $t$ ,所以得到:

$$2 \pi r^2 \rho_c a^2 (h+d) = 2 \pi r^2 \rho_m a^2 (d-t) + 2 \pi r^2 \rho_o a^2 t$$

即  $\rho_c (h+d) = \rho_m (d-t) + \rho_o t \quad (2)$

(2)式是地壳均衡的一般表达式。说明在单位截面上任意一个垂直柱体中的岩石的总质量是常数。这些柱体以一个特殊的“补偿面”为基底。补偿面以下假定为均质——这种均匀性应理解为我们从远距离观察它的结果。按照板块理论,地幔必须具有横向不均匀性,这是解释地幔对流驱动机制的必要前提。

如果用普拉特方式实现均衡,令

$d=t$ , 则

$$\rho_c (h+t) = \rho_o t \quad (3)$$

如果用爱里方式实现均衡, 令  $\rho_c = \rho_m$ , 则

$$\rho_c(h+d-t) = \rho_m(d-t) \quad (4)$$

现在研究认为 (W. A. Heiskanen), 地壳均衡的63%是按爱里的深部补偿原理来完成的, 而37%则由普拉特的密度差来补偿。

根据上述均衡原理, 在均衡面以上地壳和地幔之间存在一个密度界面, 即“莫霍面”。并且已被地震波速度发生显著变化所证实。研究重力资料发现, 较大面积的平均布伽重力异常曲线, 近似地重复着莫霍面的形状。在均衡条件下, 平均布伽重力异常和地形平均高度之间表现为负相关。因此, 利用两者之间的相关特性, 比如负相关、弱负相关、正相关、弱正相关等, 可以分析地壳的均衡程度。必须指出, 由地表重力资料不能唯一地确定深部的质量分布, 甚至用地震方法测定的密度界面位置也往往存在一个可供选择的范围。所以, 利用重力资料确定的地壳结构是所有质量分布中的一种状况。目前, 这种均衡说的地壳结构虽然得到公认, 但由于观察的事实不够充分而受到限制, 仍然是一种假说。本文的目的是利用这种假说来探讨江苏地区的地壳结构特征, 试图合理地说明一些地质现象。

## 二

江苏地区浮土覆盖面积约占全区的90%。地质情况大都靠物探资料推测和钻探揭露来了解。区内各种资料十分丰富, 值得探索的地质问题也很多。近年来, 查明本区有低角度逆断层存在, 如茅山断

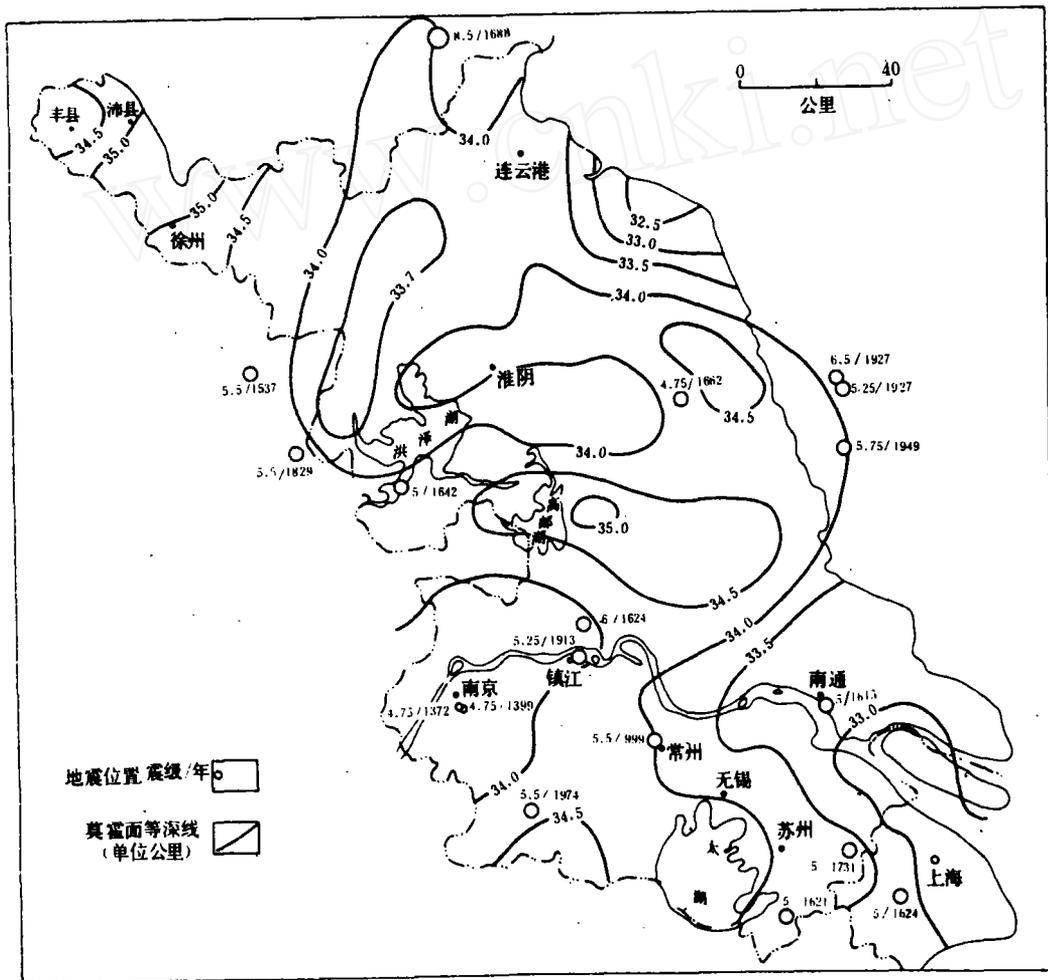


图2 江苏省莫霍面等深线图

层由东向西推覆，上古生界推覆到早白垩世火山岩之上。类似情况在泰州、江阴、无锡、苏州各地也有所见。推覆构造成为本区重要的构造特色。这是区内构造研究中出现的新情况。规模巨大的推覆构造与深部地壳结构有何关系，是值得探索的一个课题。

本区历来发生的地震情况见图2，限于图幅，黄海中发生的地震，图中未予表示。本区以往的地震发生的频度虽然不高，其强度也只是中等，但是区内人口密集，工农业发达，地震活动研究一直是本区重要的地质任务。人们曾预测下列部位容易发生地震：活动性深大断裂的拐点处、活动性断裂的端点、两组活动性断裂的交汇处、活动性断裂控制所形成的次一级凸起和凹陷的交接带等。上述见解描述了地震分布的一般规律。进一步探索它们与深部地壳结构的内在联系，并归纳本区地震分布的特殊规律性，仍是一个重要的研究问题。

本区找矿工作也有明显特点。在火山岩分布或者厚覆盖平原地区，依据地质理论和物化探测量，成功地探明了一批隐伏的工业矿床。著名的找矿实例有：火山岩地区的梅山大型磁铁矿床，厚覆盖（达160余米）地区的张堰中型铜铁矿床，以及栖霞山大型铅锌矿床等。以上找矿工作的成绩是依赖于新的找矿技术和理论预测的结果。近年来，经过研究总结，认为金属矿的空间分布与深部地壳结构的特点有一定关系。诸如相同沉积建造赋矿的差异，同类岩体含矿却不相同，各个地区某种矿的相对富集，等等。探索其原因，可归结出一个重要因素，也就是地壳结构特点的差别所致。

下面，我们利用区域重磁资料，分析区内莫霍面和地壳均衡特征，并讨论上述一些地质现象的对应规律。

### 三

江苏地区由于缺乏详细的地震资料，我们仅参考中国莫霍面深度资料<sup>[1]</sup>，以上海南通沿海地带莫霍面深度约为33.5公里作依据，利用(52×52)平方公里的平均布伽异常平面图，近似地反映出地壳的厚度( $H_0=34$ 公里， $a=-0.08$ )，江苏地区莫霍面等深线平面图见图2。由图可以看出，区内莫霍面坡度变化较小，深度在32.5公里到35.0公里之间。表现为地幔台坪隆起特征。全区莫霍面变化趋势为东部浅，西部深，苏中拗陷。其中上海、南通、滨海幔隆埋深33公里左右，丰沛、南京幔凸埋深约34.5公里，赣余、苏中、宜溧幔凹埋深约为35公里左右，郟庐断裂带（江苏地段的新沂—五河）呈幔枕特征，枕状凸出埋深33.7公里左右。对照本区地势由西向东逐渐下降的特征，说明江苏地区地壳结构基本趋向于均衡补偿。但是，局部地区未经补偿的现象仍十分明显。盐城、高邮、金坛等地地势凹洼而重力值低，在低地形条件下，布伽重力异常与高程呈正相关，说明处于补偿过剩状态。相反，宁镇、埭益、江阴、茅山、苏锡等山地重力值随高程升高而增大，表现为正地形条件下的正相关，说明处于补偿不足状态，即具有剩余质量。均衡偏差的原因可以解释是非均衡的构造力所致，比如苏中地区巨厚的新地层沉积（厚达7000米），宁镇、宁芜地区大面积岩浆岩侵入到表层或基底等，都是均衡偏离的因素。显然，岩石层依靠它的强度可以支撑小尺度的“异常”质量，然而大面积的过剩质量必然依靠地幔对流才能动力地维持，也就是要通过深部物质的水平移动而逐步达到平衡。江苏地区第四纪脉动性升降运动频繁，正性地形仍不断遭到外营力的侵蚀剥蚀作用，可以解释为下降区域的均衡回跳过程。如皋、盐城一带拗陷区重力均衡回跳过程，可能是古长江河道南迁的深部因素。同时，目前已查明的宁镇山地、茅山山地、苏锡山地等大型推覆体构造，也都位于莫霍面的变异带上。讨论其原因，可能表壳水平挤压运动与深部物质的水平移动有一定联系。而变异带显然是深部物质容易移动的场所，从而导致表壳水平挤压运动。

对照本区历年地震震中位置和莫霍面之间的关系可以发现，几乎所有地震发生地点都在莫霍面变异转折处，并且以34公里深度的莫霍面变异转折处最为集中。如盱眙、盐城、扬州、镇江、常州、溧阳等地以及黄海历年的十余次地震，还有毗邻的山东营南8.5级大地震，都发生在34公里深度的莫霍面变

异转折处。尽管阐明地震成因和机制是地球物理学目前探索的重要课题，但是上述对照关系显然说明两个基本事实：由转折端所反映（表征）的地壳脆弱处，容易造成地震的孕育与发生；并且地震活动与一定深度的地壳结构特征有关。通过历史地震位置与莫霍面等深图的对比，可以看出区内地震清晰的分布规律。这对地震预测也有一定的现实意义。

#### 四

对茅山、宁镇、苏锡等三个已知的推覆体山地，择其主要的地质、重、磁场特征，列于表1。

推覆体的构造、地质和重、磁场特征 表1

推覆体特征		宁镇山地	茅山山地	苏锡山地
产状	走向	近东西	北北东	北东
	倾向 倾角	南南东 10~30°	南东东 10~20°	北西 10~30°
地层	上盘基底	Z-P <sub>2</sub> -T <sub>2</sub>	S <sub>1</sub> -T <sub>1</sub>	D <sub>3</sub>
	下盘基底	T <sub>2</sub> <sup>2</sup> -J <sub>1</sub>	J <sub>3</sub> -K <sub>1</sub>	C-P <sub>1</sub> -T <sub>1</sub>
	盖层	T <sub>3</sub> -K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	J <sub>3</sub>
作用	挤压方向	南南东→北北西	南东东→北西西	北西→南东
	时代	J <sub>3</sub> -K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	T <sub>3</sub> -J <sub>3</sub>
重力	梯度带	2 mg1/km	4 mg1/km	1 mg1/km
磁场	垂向二导	400 km <sup>2</sup>	300 km <sup>2</sup>	300 km <sup>2</sup>
	异常	10γ/km <sup>2</sup>	10γ/km <sup>2</sup>	6γ/km <sup>2</sup>

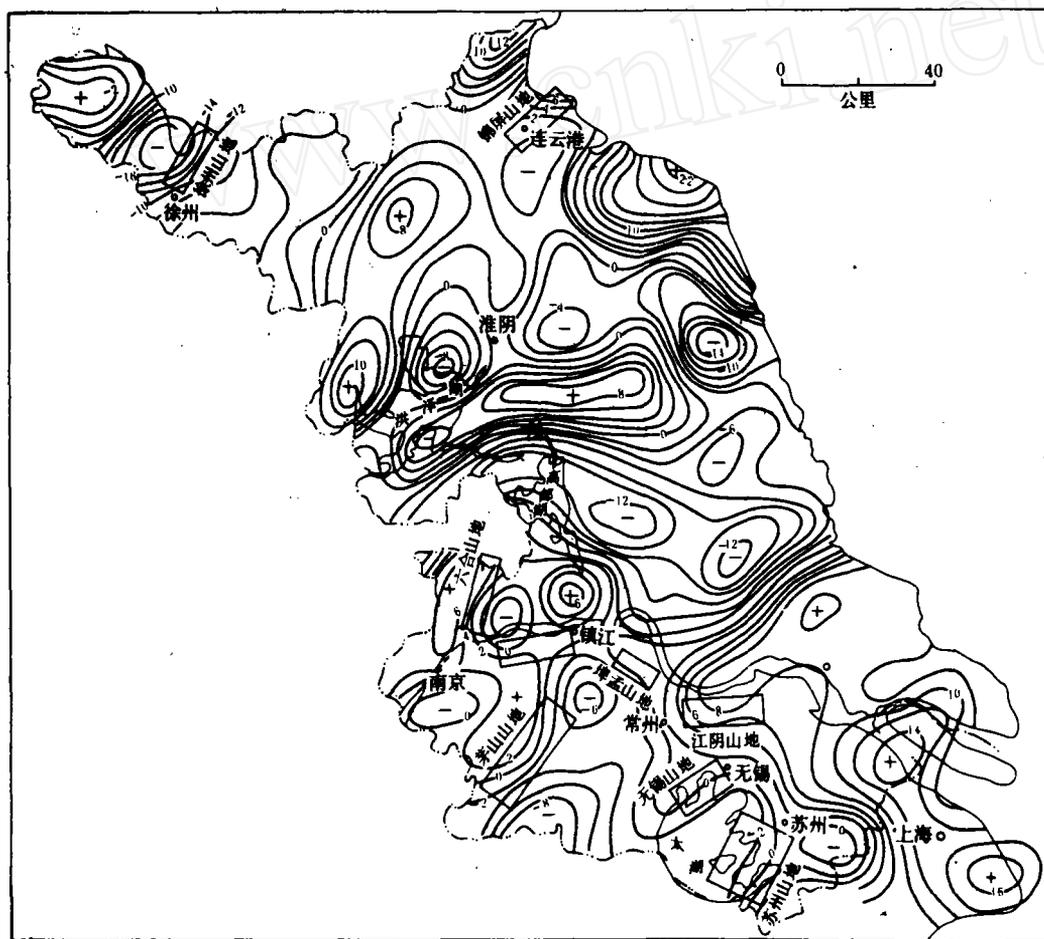


图3 江苏省山地重力异常特征图

由此可见，本区在印支运动及燕山运动时期，有着大规模的水平挤压运动。直至晚近的新构造运动，再度发生挤压，宁镇地区曾揭露出斑状花岗闪长岩向北逆冲于第四纪下蜀组粘土之上，即其例证。

上述山地具有明显的重力梯度带特征（图3），说明这些山地不存在“山根”。从地壳均衡观点来说，这些山区的地壳尚处于补偿不足状态，即有剩余质量。利用航磁化极区域场垂向二次导数异常资料，圈出岩浆房范围恰巧分布在这些山地深部（图4）：这种对应关系就很自然地得出剩余质量与岩浆房有关的解释。上述莫霍面变异带，推覆体构造和岩浆房三者吻合存在的关系，说明地表地质构造与深部地壳结构有一定的成因联系，而且岩浆构造活动还受深部结构制约。可以认为，重力均衡和构造岩浆沉积建造对均衡的破坏，是地壳处于不停运动变化的一个因素。

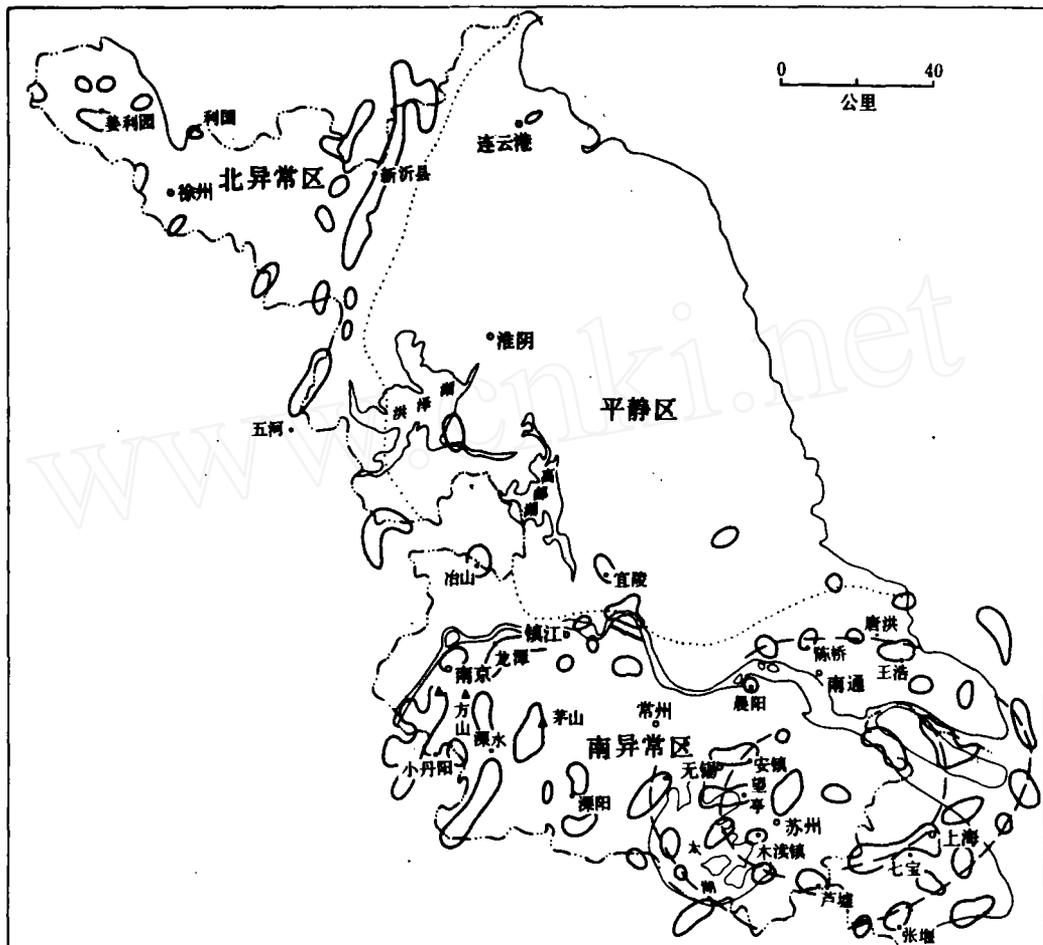


图4 江苏省岩浆构造磁场形迹图

我国地质学家谢家荣曾把矿质来源分为四大类：（1）地面来源；（2）地壳表层来源；（3）再熔化硅铝层混合岩浆来源；（4）硅镁层来源。根据矿质多源理论，在作成矿预测时显然还需要考虑地壳深部构造特征。对照本区多金属矿产分布与莫霍面之间的关系，可以看出，宁镇成矿带，苏州西部成矿区大都沿着重力梯度带展布。并且发现，所有矿床无一例外地分布在岩浆房范围内（如大型梅山铁矿）或在其附近（如大型栖霞山铅锌矿床）。上述事实说明，金属矿产分布与一定的地壳结构特征有关。可以看出，金属矿产分布在地壳补偿不足地段；岩浆活动对金属矿产也有密切关系，或有成因联系，或起改造富集作用。在本区，地壳补偿不足地段以及岩浆房分布已经成为矿产预测的重要的地球物理标志。