

利用重力资料研究我国东部地区 地壳深部构造和地壳结构特征

周国藩 吴蓉元

摘要 为分析研究我国东部地区地壳深部构造的特征及地壳结构的特点, 我们利用该区百万分之一的布格重力异常图, 以少数地震测深点提供的莫霍深度作控制, 计算并绘制了全区的莫霍等深线图及地壳深部构造格架图。对所编的地壳深部构造格架图的初步分析表明, 它较好地反映了我国东部地区深部构造的基本轮廓。此外, 文中还探讨了华南和华北地壳结构和深部构造之间某些不同的特点。

关键词 深部构造格架, 莫霍变异带, 莫霍陡倾带。

0 引言

为探讨我国东部地区地壳深部构造的特征, 为地质-地球物理的综合解释及探讨某些矿产的形成与地壳结构和深部构造的关系等提供基础资料, 我们在前人工作的基础上, 利用陕西省测绘局编制的百万分之一的布格重力异常图, 以几个地震测深点的莫霍深度作控制, 计算并编绘了东经 102° 以东的大陆地区约 $5 \times 10^6 \text{ km}^2$ 面积上的莫霍等深线图, 在此基础上, 编制了中国东部地壳深部构造格架图。经与同一地区上百个地震测深点的莫霍深度相比较, 偏差的均方根值约为 $\pm 1.4 \text{ km}$ 。这表明, 利用重力资料反演的莫霍深度是可以大致与地震测深的结果相比拟的, 从而也说明, 利用重力资料概略地研究地壳深部构造是完全可能的。

1 地壳深部构造的基本特征

纵观整个东部地区的地壳深部构造格架图(图1), 可以清楚看出以下几方面的基本特征:

1. 由莫霍等深线所反映的地壳厚度由东向西加厚。即地壳由东部大陆边缘及东南沿海一带的 30 km 左右, 到青海省西宁、四川省若尔盖、康定一线以西加厚到 60 km 以上。也就是说, 我国西部地区的地壳厚度为东部大陆边缘地壳厚度的一倍以上, 且变化是阶梯状的, 有缓有陡。

1987年10月14日收稿。

• 参加这项科研工作的还有徐忠祥、吴朝钧、陈超、王小柳、钟泽、夏江海等同志。

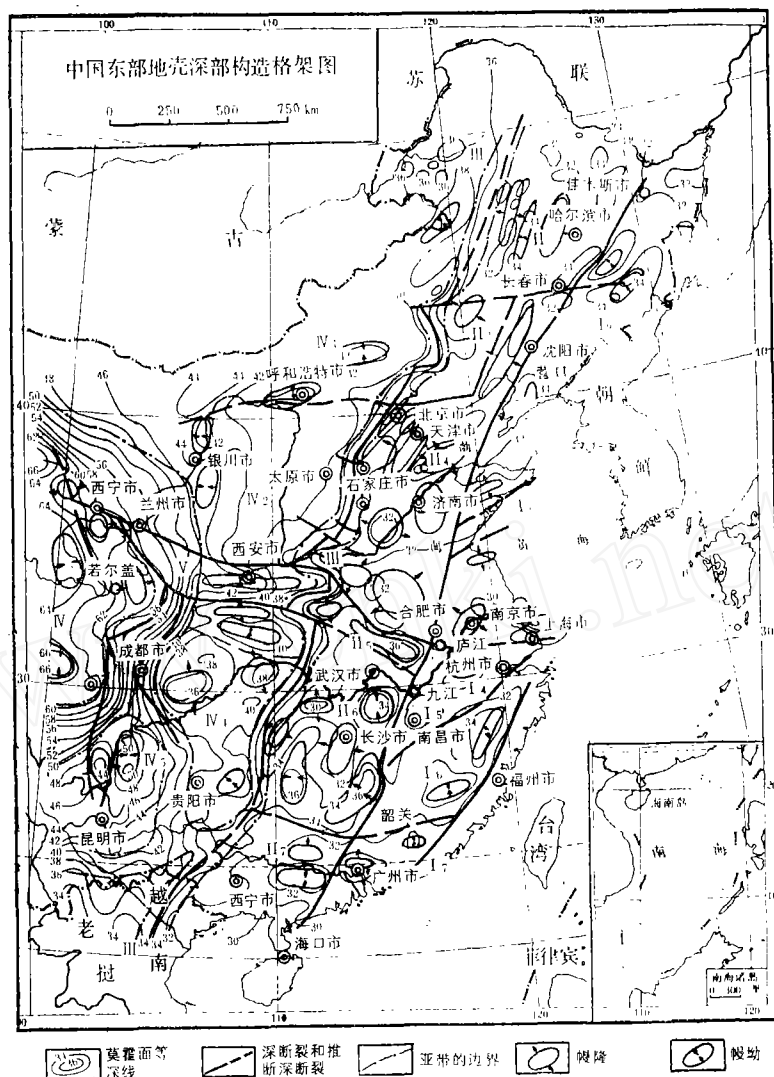


图1 中国东部地区地壳深部构造格架图

Fig.1 Map of the deep crustal structure framework of the eastern China

I 吉东-胶辽-闽浙莫霍变异带; I₁ 张广才岭慢拗带; I₂ 吉东-辽东慢拗带; I₃ 胶东-苏北慢隆区; I₄ 皖南慢拗区; I₅ 赣江慢隆区; I₆ 闽浙慢拗区; I₇ 粤东慢隆区; II 中国东部莫霍缓变带; II₁ 松辽慢隆区; II₂ 下辽河慢隆区; II₃ 辽西慢拗区; II₄ 冀鲁豫慢隆区; II₅ 桐柏-大别慢拗带; II₆ 湘鄂莫霍变异区; II₇ 桂东慢拗区; III 大兴安岭-太行山-武陵山莫霍陡倾带; IV 中国中部莫霍缓变带; IV₁ 阴山慢拗带; IV₂ 晋陕地幔缓倾区; IV₃ 秦巴慢拗带; IV₄ 川中慢隆区; IV₅ 滇东慢拗区; V 祁连山-岷山-横断山莫霍陡倾带; VI 青藏莫霍变异带

2. 由莫霍等深线所反映的深部构造主体走向为北北东和近南北向, 这与我国东部地区大地构造的主体走向特征基本一致. 这表明, 我国东部地区的大地构造格局可能受地壳深部构造的控制.

3. 斜贯研究区中部的大兴安岭-太行山-武陵山莫霍陡倾带和纵贯研究区西部的祁连山-

岷山-横断山系莫霍陡倾带对本区的深部构造起了明显的控制作用。在这两个莫霍陡倾带的两侧，莫霍等深线的走向、形态、梯度分布等特征都有明显的差异。前者把整个东部地区的地壳分为不同厚度的东西两大块；后者则把巨厚的青藏莫霍变异区与川陕莫霍缓倾带进一步分隔开来。

2 深部构造的分区

根据莫霍等深线的分布特征，结合现已掌握的地质和地球物理资料，可以将整个东部地区的深部构造大致划分成六个具有不同特征的构造带。

2.1 吉东-胶辽-闽浙莫霍变异带（Ⅰ）

这是以上地幔坳陷为主的莫霍变异带，莫霍深度起伏较大，变化也较频繁。其东界为滨临太平洋的一系列浅海，西界止于郯庐深断裂及其南北的延伸线，即北端穿过渤海后，大致沿营口—沈阳—依通—依兰—一线向北北东方向继续延伸到佳木斯市以北，而南端沿庐江—九江—新余—韶关—肇庆—一线一直伸向雷州半岛的东侧。区域构造以隆起为主，地形多为丘陵或中等山系。地壳厚度大致变化于30~36km之间。

进一步对整个地带进行细分，则从北到南可以分为七个亚区（带），它们是：

I₁——张广才岭慢坳带；I₂——吉东-辽东慢坳带；I₃——胶东-苏北慢隆区；
I₄——皖南慢坳区；I₅——赣江慢隆区；I₆——闽浙慢坳区；I₇——粤东慢隆区。

也就是说，该带实际上是一个莫霍界面三隆三坳的变异带。

2.2 中国东部莫霍缓变带（Ⅱ）

这是以上地幔隆起为主的莫霍界面平缓变化带。其东界即郯庐深断裂及其向南北的延伸线，西界则为大兴安岭-太行山-武陵山莫霍陡倾带的东缘。地形上主要是平原区，仅部分地区为丘陵或山地。其中平原区包括松辽、华北及江汉等在内。莫霍界面等深线图显示上地幔的隆起。在丘陵区，随着地形的起伏，莫霍深度也有些幅度不大的变化。也可以进一步对此带分成七个亚区（带），它们是：

II₁——松辽慢隆区；II₂——下辽河慢隆区；II₃——辽西慢坳区；II₄——冀鲁豫慢隆区；II₅——桐柏-大别慢坳带；II₆——湘鄂莫霍变异区；II₇——桂东慢坳区。

2.3 大兴安岭-太行山-武陵山莫霍陡倾带（Ⅲ）

它的突出特点是：（1）延伸长度大，即从大兴安岭以北起，向南南西方向一直延伸到广西百色盆地以南，全长4000km以上；（2）莫霍深度的变化大，在整个地带上，莫霍深度都有几公里的变化，个别地段上在不到100km宽的范围内，莫霍深度竟变化5~7km，这标志着莫霍面或莫霍层出现了巨大的落差；（3）在此地带的两侧，莫霍等深线的行径、走向、等值线圈闭的形态特征等显示了不同的特点。

根据这些特点，结合已有的几条穿过该区重力梯级带的地震测深剖面，初步分析认为，这一地带很可能是存在着一系列不同深浅的巨型断裂或是莫霍深度存在急剧变化的地带，故命名为莫霍陡倾带^[1]。在整个陡倾带上，有多处受到其它方向深部构造的影响，形成了莫霍等深线图形上的“S”形扭曲段。其中最明显的有三处：（1）受东西向深部构造影响形成的冀北燕山扭曲段；（2）受中条山、东秦岭等深部构造影响所形成的豫西双“S”形扭曲段；

(3)受苗岭山系深部构造影响形成的桂西扭曲段。饶有兴趣的是,三个扭曲段成等间距分布。

2.4 中国中部莫霍缓变带(川陕莫霍变异带)(Ⅳ)

这是又一个以地幔隆起为主的莫霍缓变带。大地构造上大致与李四光所命名的第三沉降带相吻合。其中北部包括鄂尔多斯台向斜及山西台背斜的一部分^[2],南部主要包括四川台向斜及滇东台褶带等构造单元。地壳厚度的变化相对东部平原区的莫霍缓变带来说要大一些,但相对其两侧的莫霍陡倾带来说都是比较小的。例如,北部的鄂尔多斯台向斜,在数十万平方公里的范围内,莫霍深度仅有2~3km的变化,在南部的四川盆地,莫霍深度也仅变化于4~5km之间。

根据该带内部地壳厚度的变化情况及深部构造的走向、形态等特征,内部又可分成五个亚区(带)。即:

Ⅳ₁——阴山慢拗带;Ⅳ₂——晋陕地幔缓倾区;Ⅳ₃——秦岭大巴山慢拗带;Ⅳ₄——川中慢隆区;Ⅳ₅——滇东慢拗区。

2.5 祁连山-岷山-横断山莫霍陡倾带

这是比大兴安岭-太行山-武陵山莫霍陡倾带的规模更大、变化更剧烈的莫霍变异带,是环绕青藏高原外缘的弧形莫霍陡倾带的一部分。其莫霍深度由川中的40km左右一直下降到若尔盖-康定一带的60km以下。梯度最大在川西的龙门山、邛崃山一带,坡度竟达每百公里距离深度变化10km以上。无疑,这反映了一系列深断裂、巨型的线性构造及某些莫霍陡坡的综合效应。

2.6 青藏高原莫霍变异区

这是位于祁连山-岷山-横断山弧形莫霍陡倾带之西南的一个地壳加厚区。莫霍深度一般在60km以上。内部还有十几公里的起伏。这一地壳巨厚区,已经多种地球物理工作结果的证明。它的形成可能与印度板块向欧亚板块俯冲有关。其结果使青藏高原地形隆起,而其莫霍则向上地幔拗陷。

3 对几个问题的探讨

3.1 华北与华南重力异常场的特征与地壳结构等方面的差异

华北与华南不仅是地理位置上含义的不同,而且还处在不同的大地构造单元上,因此表现在重力异常场和地壳构造上也有许多的差异。

从1°×1°的平均布格重力异常图可以看出^[1],华北地区东部的重力异常等值线展布方向比较规则,从大窗口的平均场或上延图上,更可以清楚地看出,其主体走向为北北东向和南北向;另外,从异常的变化情况看,异常值变化的幅度不大,但平均水平较高;而华南地区则情况较为复杂。其异常等值线的展布方向不甚规则,平均水平偏低,而变化较为剧烈。重力场特征的这些差异,标志着地壳结构或深部构造亦必存在某些差异。

分析华北和华南地区典型的地震测深资料(图2)可以看出,华北地区的地壳结构主要是三层结构,即从几公里到十几公里厚度的上地壳,十多公里厚的中地壳和约10km厚的下地壳,其中的中地壳多有较厚的低速层存在;而华南地区的地壳结构,基本上是双层结构,其与华北地区相对应的上地壳一般很薄,有的地方中地壳中的低速层缺失,有的地方很薄;至于处在华北与华南之间的过渡地带,如中、下扬子地区,则地壳结构的特点介于两者之

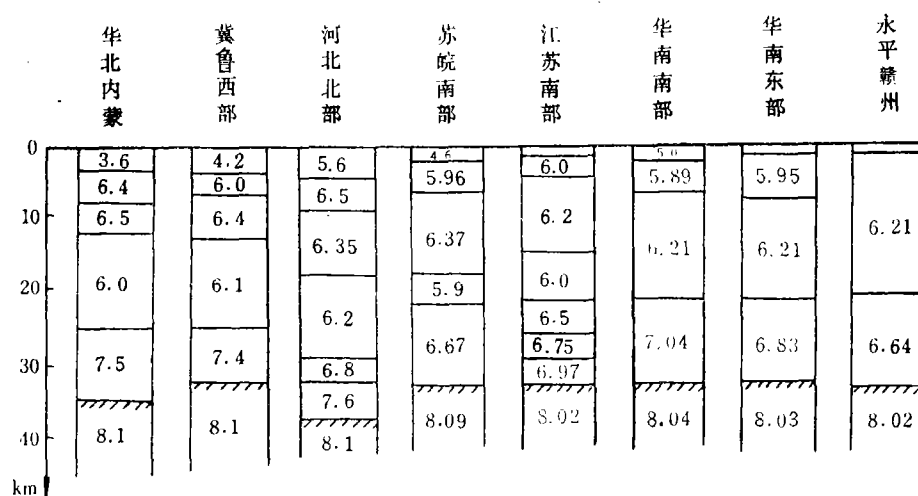


图2 华北、华南某些地区典型的地壳速度分层模型

Fig.2 Typical model of velocity structure in crust of some areas in the north China and the south China

间，基本上亦属三层结构，但中地壳中的低速层较薄。

华北和华南地壳速度结构中的差异不仅表现在纵波的平均速度上，也表现在面波的频散曲线和群速度等方面^[3]。

从地震测深结果已知，华北地区的地壳平均厚度比华南地区厚，中地壳的低速层也较厚。为什么表现在重力场中，布格重力异常的平均水平华北地区反而高于华南呢？王懋基同志^[4]提出，华北地区属于正常的地壳结构，而华南负重力场主要反映了地壳的花岗岩化作用。笔者支持这种见解，并利用统计分析的资料为此提供了一些证明。其方法和结果如下。

利用华北地区的46个点，华南地区的56个点的地震测深和重力异常资料进行相关分析。其结果是：在华北地区，相关系数与可信度的最大值在平均场的半径为40km和60km处，求得地壳厚度与布格重力异常的线性回归公式为：

$$H = 33.9 - 0.058 \Delta g$$

根据回归系数与壳幔密度差的关系，求得壳幔密度差为 -0.41 g/cm^3 。在华南地区，地壳厚度与不同半径的布格重力异常平均值之间的相关性较差，其最大相关系数仅 -0.4 ，位置大致在平均场的半径为40km处。获得地壳厚度与布格异常之间的线性回归公式为：

$$H = 29.8 - 0.062 \Delta g$$

根据回归系数求得壳幔密度差为 -0.38 g/cm^3 。

相关分析的上述结果表明：华北地区的地壳厚度比华南厚，壳幔层的密度差华北也高于华南，这与前面讨论的华北与华南在地壳速度结构上存在一定的差异，且平均速度华南高于华北的结论是基本相符的。

3.2 对华北地区地壳结构模式的探讨

为探讨重力资料与地震测深资料相配合在研究地壳结构和深部构造方面的效能，利用华北地区的几条地震测深剖面的重力布格异常和速度结构资料进行了综合解释的尝试。下面以

菏泽-长治剖面为例加以说明。

首先根据地震测深提供的速度结构图,求得各速度层相应的密度值,然后,按二维或三维模型体的解析公式进行重力异常的正演,并将其结果总和与实测重力异常相比较,如果不符,便修改地壳结构的模型,如此反复,直到由理论模型计算的理论重力异常与实测重力异常达到最佳拟合为止;最后,参照S. Mueller的大陆地壳结构新模型^[5],赋与不同密度层一定的岩性特征,就构制出一种理想化的地壳结构模型了。图3、图4为华北菏泽-林县-长治剖面的深度-速度结构及以此为初始模型经拟合调整获得的深部地质-地球物理断面图。

虽然,这一地壳结构断面只是满足部分物性条件(即地震层速度和与之相应的密度)的一种理想化的模式,但它也说明:(1)就华北地区而论,从地壳结构来看,无论是纵向或是

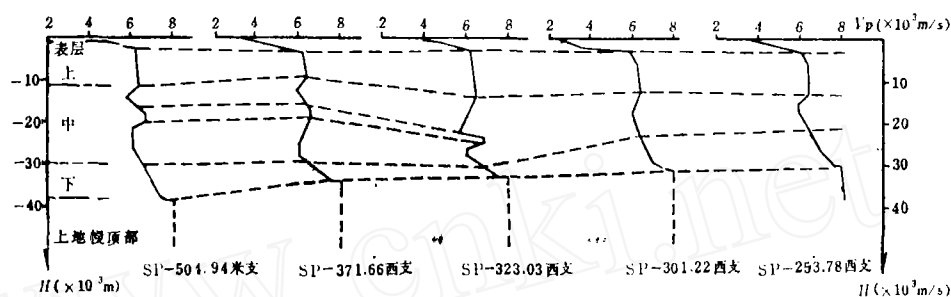


图3 菏泽-林县-长治剖面深度-速度结构图
(引自国家地震局物探大队资料)

Fig.3 Relation between depth and velocity in Heze-Linxian-Changzhi profile
(based on data from Geophysical Prospecting of National Seismic Bureau)

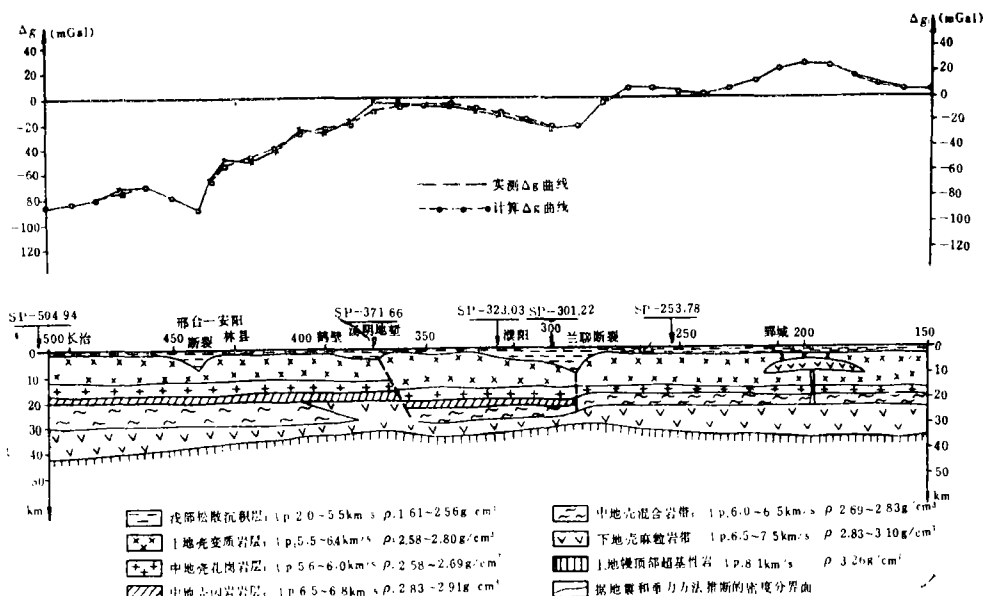


图4 菏泽-长治剖面深部地质-地球物理断面图

Fig.4 Deep geological and geophysical section in Heze-Changzhi

横向, 都是很不均一的, 即变化比较急剧; (2) S. Mueller 的大陆地壳结构新模型有一定的普遍意义, 应用于我国华北地区也是可能的。

4 结束语

地壳深部构造或地壳结构的研究, 是一项很有意义但同时也是难度很大的工作。地震测深、大地电磁测深是比较有效的方法, 但其花费甚大。如果以其中的一些资料作控制, 而利用重磁资料加以展开、深化, 将可起到事半功倍的作用。由于掌握的资料有限, 且运用的方法不能保证完全可靠, 但为我国东部地区的深部构造的研究提供了一些可供参考的基础资料。欢迎批评指正。

参 考 文 献

- 〔1〕 周国藩, 吴蓉元等. 太行山重力梯级带的重磁场特征及深部构造分析. 地球科学, 1985; 10(4)
- 〔2〕 杨森楠, 杨毅然等. 中国区域大地构造学. 武汉地质学院出版社, 1982
- 〔3〕 朱介寿. 我国大陆地壳及上地幔分块结构特征. 成都地质学院学报, 1986; 13(1)
- 〔4〕 王懋基. 根据重力场研究华南地壳结构. 物探与化探, 1985; 9(3)
- 〔5〕 Mueller S. A New Model of the Continental Crust in Earth's Crust Washington, D.C. 1977

THE INVESTIGATION OF DEEP CRUSTAL STRUCTURE AND CRUSTAL CONSTRUCTION OF THE EASTERN PART OF CHINA WITH GRAVITY DATA

Zhou Guofan Wu Rongyuan

(China University of Geosciences, Wuhan 430074)

ABSTRACT

In order to investigate characteristics of deep crustal structure and crustal construction of the eastern part of China, contour map of Moho depth and structural framework map of deep crust were compiled. Moho depths were calculated by use of gravity Bouguer anomaly map on the scale of 1:1,000,000, and controlled by some results of deep seismic sounding. Initial analysis of these results shows that they reflect basic outline of deep structure of the eastern part of China relatively well. Besides, some different characters of crustal construction and deep structure between the south China and north China were discussed.

KEY WORDS deep structure framework, Moho anomalous belt, Moho steep belt.