

南黄海布格重力异常的小波多尺度分析

谢天峰^{1,2}, 付永涛¹

(1. 中国科学院 海洋研究所 海洋地质与环境重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要:采用二维小波变换与多尺度分解技术,对南黄海布格重力异常进行了分解,得到了自地表至莫霍面深度范围的不同尺度的密度体所产生的重力异常,从而获取不同切割深度的断裂构造、沉积基底及莫霍面所产生的重力异常。结果表明:该区断裂相互交错、切割深度不一,有明显的多期活动的迹象;小波变换的四阶异常细节主要由沉积基底面起伏所引起的,而小波变换四阶异常逼近主要反映了该区莫霍面起伏特征。

关键词: 南黄海; 布格重力异常; 小波多尺度分解

中图分类号: P738.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2008)11-0060-04

重力方法在海洋矿产资源勘探和区域地质构造研究中发挥着重要的作用。由于重力异常反映的是地表下不同深度、不同规模、不同密度的地质异常体的重力异常总效应,为了得到目的地质体对应的重力,并据此对重力异常进行反演与解释,必须找到一种方法能够从重力异常中有效地分离出反映其纵、横向不同尺度地质体产生的异常场,进而研究其结构、介质特性等诸多地质问题。传统的解析延拓、趋势分析、滑动平均、匹配滤波等方法效果总不尽如人意,也很难有效地进行场的分离,傅里叶分析方法只能获得函数 $f(x)$ 的整体频谱,不能获得信号的局部特性。而小波变换则可以解决这一问题,它可将信号 $f(x)$ 分解成多种不同的频率成分或各种不同的尺度成分,并且通过伸缩、平移聚焦到 $f(x)$ 的任一细节加以分析^[1]。研究表明^[1~3],应用小波变换来划分提取不同尺度的重力异常取得了良好的效果。

作者应用二维小波多尺度分解技术,对南黄海的二维布格重力资料进行了处理,得到各种尺度意义下的重力异常。根据分解结果,并结合地质信息,对该区的断裂特征、沉积基底和莫霍面起伏形态进行了初步探讨,进而为该区区域构造的研究提供依据。

1 南黄海地质构造特征

南黄海地区兼跨中朝、扬子和华南三大构造单元。北部靠近山东半岛,与北黄海相连,位于中朝块体;南部与东海相连,位于浙闽隆褶带上;中部为扬子块体。海区从北向南,依次有千里岩隆起,北部盆地,中部隆起,南部盆地,勿南沙隆起,另外还有东部隆起,这些构造被一系列多期次、多层次的断裂切割,形成复杂的构造体系。

2 重力异常的小波多尺度分解

小波多尺度分解又称多分辨分析。对于离散信号,小波变换采用 Mallat 算法,其具有低阶细节不变的特征,这一特征使我们可以比较容易地将深浅、密度不同的地质体引起的异常从总场中分离出来。经信号不同尺度分解后,得到不同尺度下的逼近部分和细节部分。对于二维重力场^[1],其异常数据的小波多尺度分解(以四阶为例)为:

$$\Delta g = A_4 G + D_4 G + D_3 G + D_2 G + D_1 G$$

式中, $A_4 G$ 是四阶小波变换的低频逼近部分, $D_j G$ (水平方向、垂直方向和对角线方向三个细节部分之和)是第 j 阶小波变换的高频细节部分,其中, $j = 1 \sim 4$ 。由此可将重力异常分解,并得到各阶逼近场和细节场。

3 南黄海布格重力小波多尺度分解结果

根据上述原理,应用小波变换对南黄海布格重力数据(图 1)进行了多尺度分解。本研究区范围为 $32^\circ \sim 37.5^\circ \text{N}$, $122^\circ \sim 126^\circ \text{E}$,布格重力异常资料为 $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$ 网格化数据。

研究表明^[4],随着阶数的增大,小波所反映的波长范围是逐渐增大的。根据重力场理论,不同波长的重力变化反映不同深度的密度变化,密度变化体

收稿日期:2008-05-20;修回日期:2008-06-18

基金项目:中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-SW-203)

作者简介:谢天峰(1982-),男,河南孟州人,硕士研究生,从事海洋重磁与构造地质研究,E-mail:xietaf1099@163.com;付永涛,通讯作者,电话:0532-82898535,E-mail:ytfu@ms.qdio.ac.cn

越深,则在地表表现出的波长越大。由此可知,不同阶的小波分解结果反映了不同深度的密度变化,阶数越高所反映的场源就越深。作者选取 4 阶多尺度分解进行场的分离。

图 1 为南黄海布格重力异常图。图 2~图 6 为分解成果图,图中负值区域用浅灰色到深灰色填充;等值线标注的数字单位为 mGal。

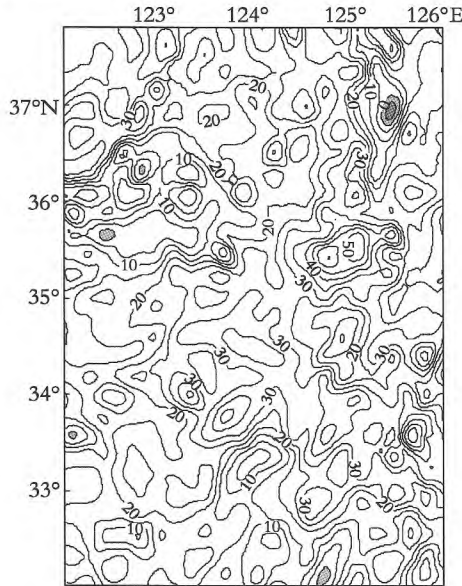


图 1 南黄海布格重力异常图

Fig. 1 The Bouguer gravity anomalies in the South Yellow Sea
研究区布格重力异常的一阶小波异常细节(图 2)的等值线圈闭范围小,大小不等,为小尺度重力异常,其中一阶细节数值变化为 $-6.5 \sim 7$ mGal,这除

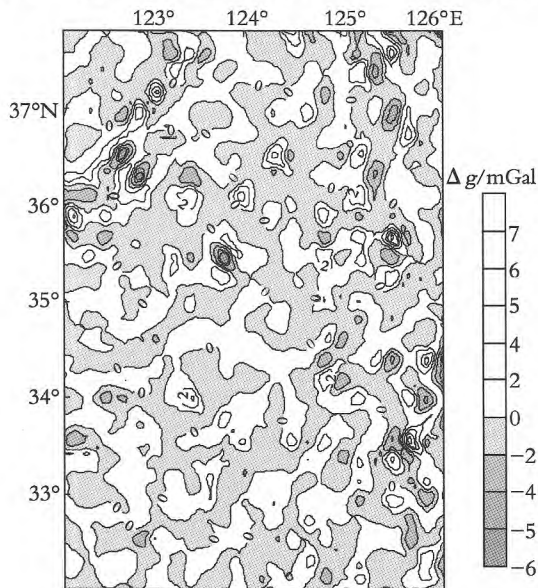


图 2 南黄海布格重力异常一阶小波变换细节图

Fig. 2 The first order wavelet transform detail of Bouguer gravity anomalies in the South Yellow Sea

了与海底表层沉积物分布和地壳浅层岩石密度不均匀有关外,还可能反映了重力观测中的误差和布格校正过程中的相关影响;从一阶小波细节图上可看出,本区北部与东部串珠状异常发育,其中在北部多发育北东向和北东向异常,也存在少量的北西向异常,东部即朝鲜半岛西缘发育近南北向异常。

二阶细节(图 3)数值变化为 $-13 \sim 13$ mGal,主要反映了本区中上地壳密度的不均匀,是中新生代沉积盖层的体现;二阶细节除了具有与一阶细节基本相同的特点外,在本区中部发育有近东西向的异常,其南部发育北东向串珠状异常;据此推测,这些一阶和二阶串珠状异常为本区断裂引起的,故本区的断裂主要为北北东向断裂,还有少量北北西向和近东西向断裂,在朝鲜半岛西缘发育近南北向的断裂。

三阶细节(图 4)数值变化为 $-12 \sim 12$ mGal,主要反映中下地壳的密度不均匀,是中古生代沉积盖层的体现;其等值线圈闭数量比二阶细节少,但范围增大;结合地质信息,推测其与沉积层厚度有关,高值圈闭区沉积层变薄,低值圈闭区沉积层厚度加大,低值圈闭中心则表示了沉积中心的位置所在。

四阶细节(图 5)异常等值线圈闭范围进一步增大,可达数百平方公里,其形态也有较大变化,其高值圈闭等值线值为 11 mGal,低值圈闭等值线值为 -7 mGal,重力高反映了隆起区,重力低则对应了基本对应了地震圈定的沉积凹陷,很好地反映了南黄海陆架沉积盆地及沉积基底面的起伏与形态。

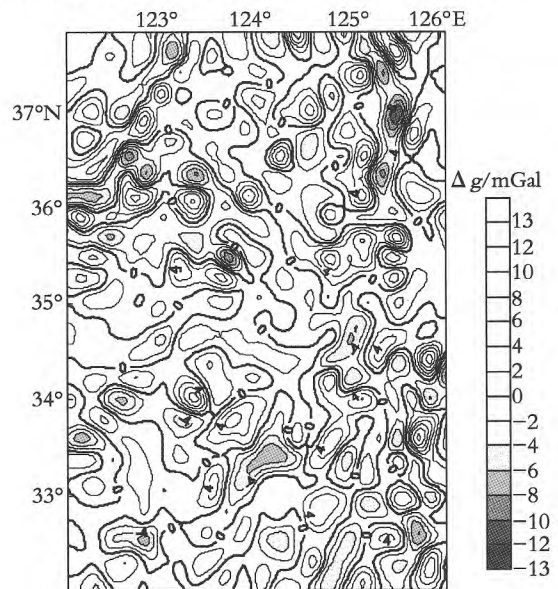


图 3 南黄海布格重力异常二阶小波变换细节图

Fig. 3 The second order wavelet transform detail of Bouguer gravity anomalies in the South Yellow Sea

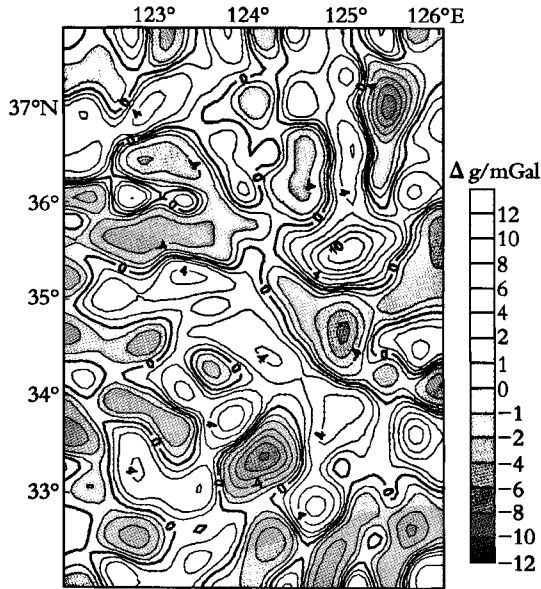


图4 南黄海布格重力异常三阶小波变换细节图

Fig. 4 The third order wavelet transform detail of Bouguer gravity anomalies in the South Yellow Sea

小波四阶逼近场(图6)表现平缓,其场值为12~31 mGal,主要反映莫霍面的起伏和上地幔岩石密度的变化,总体上看,本区莫霍面由西向东逐渐抬升,局部发育隆起与坳陷。

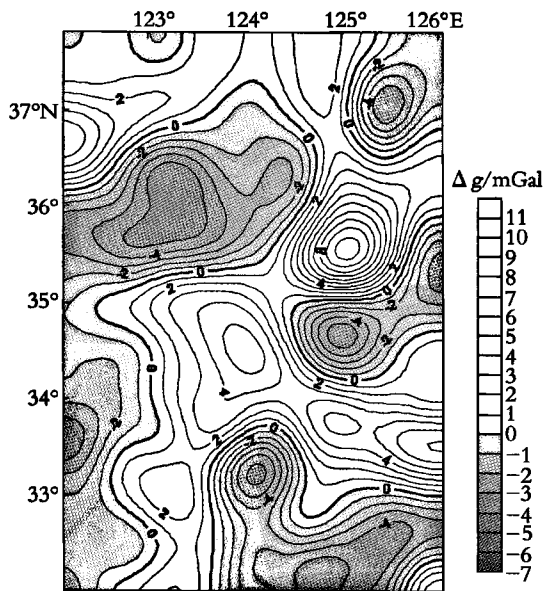


图5 南黄海布格重力异常四阶小波变换细节图

Fig. 5 The fourth wavelet transform detail of Bouguer gravity anomalies in the South Yellow Sea

4 结果分析

对比一至四阶小波变换异常细节图,随着阶次的增大,圈闭范围随之增大,其所反映的场源深度也增大。

在小波一阶细节和二阶细节图上,多发育北东向和北东东向串珠状异常,也可见到近东西向和北西向异常;在南黄海的东部则发育近南北向的异常,这些异常对应着该区的断裂带。嘉山-响水在三阶小波细节(图4)和四阶小波细节(图5)图上也有所反映,推测该断裂切割很深,为岩石圈断裂。在一至三阶细节图东部发育的近南北向异常,显示了朝鲜半岛西缘断裂的存在,但在四阶细节图上已经看不到该断裂,推测该断裂仅切割至下地壳。对比一至四阶小波变换异常细节图,研究区的优势断裂走向为北东向和北东东向。同时,该区还有北西向,东西向和近南北向的断裂,这些不同方向的断裂相互交错,互有切割,有明显的多期活动的迹象。

从图5上可以看出,小波四阶异常细节图基本反映了该区的沉积基底的起伏特征。该区北部发育的北东东向重力低对应着南黄海北部坳陷和群山坳陷;在该区的南部的重力低值圈闭则对应了南黄海南部坳陷和黑山坳陷。

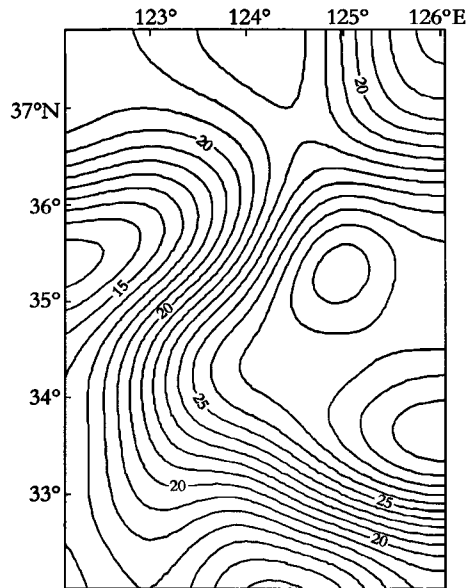


图6 南黄海布格重力异常四阶小波变换逼近图

Fig. 6 The fourth wavelet transform approximation of the Bouguer gravity anomalies in the South Yellow Sea

5 结论

利用小波变换多尺度分析,可以分解出埋藏较浅、尺度较小的地质体和埋藏较深、尺度较大的地质体。从南黄海布格重力异常的小波多重分解结果来看,小波变换确实揭示了不同深度和尺度地质体密度的不均匀性,低阶的细节场反映了埋藏较浅、尺度较小的地质体,高阶的细节场反映了埋藏较深、尺度较大的地质体。

通过分析小波各阶的分解细节,可大致得出该区的断裂分布特征。要详实地识别南黄海的断裂还需要结合其它地质地球物理资料进行进一步的研究。

小波变换的四阶异常细节主要由沉积基底面起伏所引起的,其重力低对应着该区的沉积拗陷;而小波变换四阶异常逼近主要反映了该区莫霍面起伏特征。

通过对南黄海布格重力异常的小波多尺度分析,为进一步识别南黄海的断裂分布与性质和反演南黄海主要密度界面、沉积基底、莫霍面深度与形态提供了依据。

参考文献:

- [1] 侯遵泽,杨文采. 中国重力异常的小波变换与多尺度分析[J]. 地球物理学报,1997,**40**(1):85-95.
- [2] 高德章,侯遵泽,唐建. 东海及邻区重力异常多尺度分解[J]. 地球物理学报,2000,**43**(6):842-849.
- [3] 杨文采,施志群,侯遵泽等. 离散小波变换与重力异常多重分解[J]. 地球物理学报,2001,**44**(4):534-541.
- [4] 刘少明,申重阳,孙少安,等. 小波多尺度分解特征分析[J]. 大地测量与地球动力学,2004,**24**(2):34-41.

Wavelet transform and multi-scale decomposition of Bouguer gravity data of the South Yellow Sea

XIE Tian-feng^{1,2}, FU Yong-tao¹

(1. Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071, China; 2. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049 China)

Received: May, 20, 2008

Key words: the South Yellow Sea; Bouguer gravity anomaly; wavelet multi-scale decomposition

Abstract: Bouguer gravity anomaly in the South Yellow Sea is decomposed with two dimensional wavelet decomposition technique. In order to obtain the gravity anomalies correlated with fractures, sedimentary and Moho basements, gravity anomalies produced by anomalous density bodies varying from surface to Moho are obtained. The results show that the faults of different tendencies intermesh and cross mutually, which indicates that multiple-period tectonic reformation occurs and the fourth order detail of the Bouguer gravity anomaly mainly reflects the sedimentary basement, while the fourth order approximation of the Bouguer gravity anomaly reflects the Moho.

(本文编辑:刘珊珊)