

南海海盆测高重力异常特征及构造解释

晁定波¹ 姚运生² 李建成¹ 徐菊生²

(1 武汉大学测绘学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(2 中国地震局地震研究所, 武汉市小洪山, 430071)

摘要: 利用由多代卫星测高资料反演得到的 $2.5' \times 2.5'$ 空间重力异常数据, 解释了南海地块边界及内部结构的重力异常特征, 表明高分辨率的重力异常资料有助于研究海洋岩石圈的细结构和资源评估勘探。

关键词: 重力异常; 卫星测高; 构造演化

中图法分类号: P223.7; P313

由于对海洋的实地地学勘查比陆地要困难得多, 目前采用的深海钻探、人工地震以及海洋重力和地磁测量等技术不但代价高, 而且工作范围也很有限。海洋重力场是由海洋岩石圈及其深度物质分布和构造所确定的, 是反映海洋岩石圈构造和海底地形的基本地学信息, 然而要用船测测量, 即使要求 100km 的分辨率, 就目前的技术条件, 估计要很多年才能完成。20 世纪 70 年代末发展起来的卫星雷达海洋测高技术为恢复高分辨率的海洋重力场提供了经济有效的技术手段, 该技术能精密地描述全球平均海面的形状, 平均海面去掉 1m 量级的海面地形影响就是海洋重力大地水准面, 由此, 可确定海洋重力场。本文联合利用 T/P、ERS1/2、Geosat GM/ERM 完整的卫星测高资料, 反演求解了南海海区 $2.5' \times 2.5'$ 空间重力异常(简称重力异常), 精度约为 9.0mGal, 虽然精度仍低于船测的重力测量, 但其高分辨率基本上反映了重力场的细结构, 为认识海洋岩石圈结构提供了丰富的信息^[1]。

南海地处菲律宾板块、欧亚板块与印度-澳大利亚板块的交汇地带, 地质构造十分复杂。由于海盆大部分地区是深海或半深海, 随着科技的发展和高新技术的应用, 如多手段的重力场、地磁异常和资源勘探等, 人们对它的认识逐渐深入, 大多数人认为南海盆地的主体在大地构造属性上属欧亚板块东南边缘的次级板块——南海地块。本文利用卫星重力测高提供的高分辨率空间重力异常图(图 1), 解释南海地块细结构的重力异常特征,

进而探讨其形成和构造。

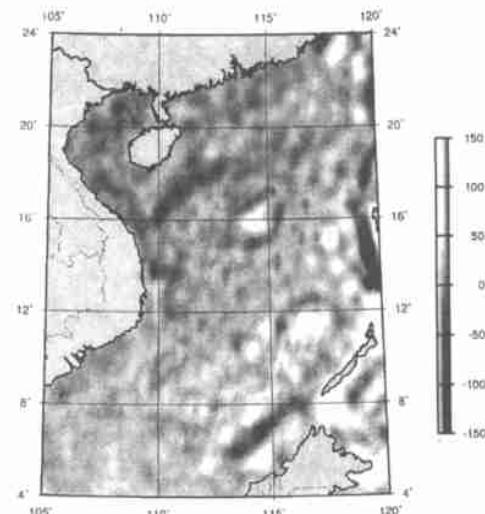


图 1 南海海盆卫星测高空间重力异常图

Fig. 1 Free Air Gravity Anomaly Derived from Satellite Altimeter Data in China South Sea

1 南海地块的边界及空间重力异常特征

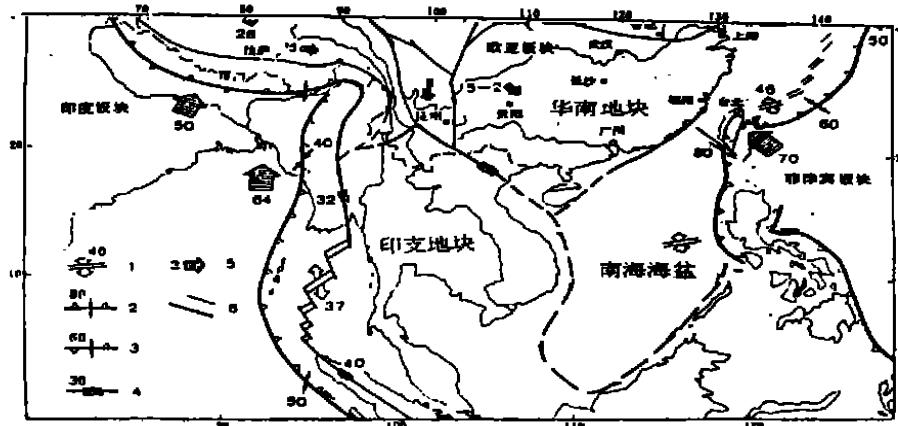
南海地块的北界沿南海北部大陆架边缘绕海南岛南端与红河断裂带连接, 其西、南、东部边界与海盆一致, 东以菲律宾西侧俯冲带为界, 南以巴拉望逆冲带及南海海槽为界, 西部边界为印支半岛沿海, 与红河断裂带相连。如图 2 所示, 其中 1~4 为活动板块相对运动矢量及速度, 单位为 mm/a。

1.1 南海北部大陆架边缘

南海北部为NE向的华南大陆架,由于受张力作用,发育了一系列阶梯状正断层及其所围的地堑和地垒。基底地堑控制新生代含油气断陷盆地的形成和发展,如珠江口、琼东南、莺歌海和北部湾等拉张型断陷盆地,成为拉张型板块边缘构造。这种拉张型边缘盆地多与海岸线平行,由于陆源物质和有机物质丰富,沉积速度快,沉积有厚度达几千m至一万多 m 的新生界地层,是油气的形成和富集区,个别盆地最下部有晚白垩纪的沉积。这说明这些盆地从晚白垩纪时便开始发育,具有零星的基性

岩活动,地热流值高,在盆-坡边界处测得高达3.9 HFU的热流值。因此,在新生代,这里应是大西洋的被动边缘。

在重力异常特征上,重力异常的低值区与沉积盆地的凹陷区相对应;其高值区与盆地的隆起区和边界相对应,其起伏与沉积盆地的基底起伏成较好的正相关系。如北部湾、莺歌海、珠江口盆地等中部为凹陷,空间重力异常为(-20~30)mGal,而琼东南盆地中部为NE向中央隆起,空间重力异常值为零,南北两侧为凹陷,空间重力异常值最低达-40mGal(图3)。



1—分离边界、扩张脊;2—俯冲边界;3—碰撞边界;4—一定滑转换边界;5—板块的绝对运动和亚板块、块体相对欧亚板块(西伯利亚)的运动矢量及速度 单位: mm/a; 6—亚板块、块体边界

图2 南海及邻区的大地构造分区

Fig. 2 Tectonic Distribution in South Sea and Its Adjacent Areas

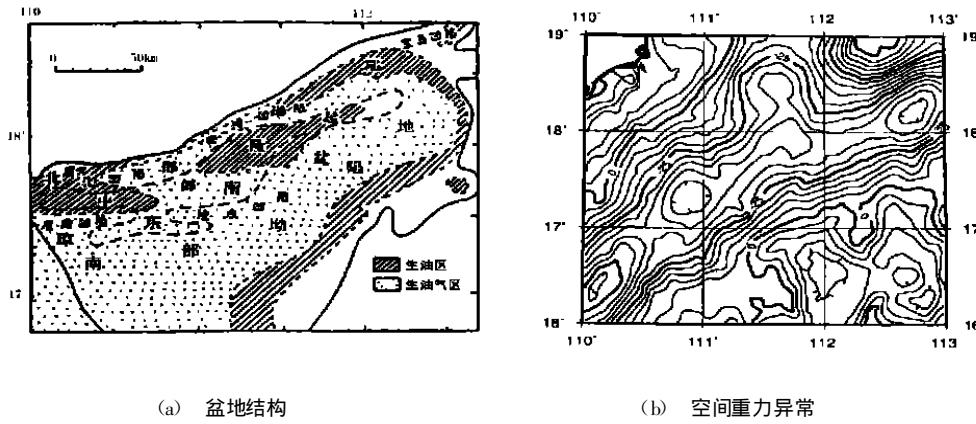


图3 琼东南盆地结构及空间重力异常

Fig. 3 Structure of South-east Hainan Basin and Air Free Gravity Anomaly

1.2 菲律宾西侧俯冲带

菲律宾西侧俯冲带由3个不连续的俯冲带组成,即马尼拉俯冲带、内格罗斯俯冲带和哥达巴都俯冲带。但与南海地块有关的主要马尼拉俯冲带,它南起12°N,北到22°N,在南部倾角较大,下部

几乎接近垂直,最深可达250km,北部倾角变小,约45°,最深可达150km,俯冲方向近EW,向东俯冲;22°N以北,马尼拉俯冲带与台湾西南俯冲带相连,但转换关系尚不清楚。马尼拉俯冲带沿南海海盆东部边缘的马尼拉海沟展布,海沟内热流值低

(1.0HFU), 从重力异常来看(如图4), 在海沟轴线上为一连串的重力异常圈闭, 明显揭示海沟轴部重力异常的特征。在 16°N 以南地区, 重力异常相对较大, 最低达 -150mGal ; 在 16°N 以北地区重力异常在海沟轴部约($-50\sim-30\text{mGal}$), 负重力值相对较小, 并一直向北延伸到 21.5°N 附近。马尼拉海沟被公认为是活动的俯冲带。

1.3 巴拉望逆冲带及南沙海槽

巴拉望逆冲带长达上千公里, 由一系列走向为NE-SW、倾向为SE的逆断层组成。其SE为南海南缘大陆架等; NW为NE走向的南沙海槽, 沿海槽发育一系列阶梯状正断层, 岩浆侵入活动明显。这里的地形反差强烈, 垂直落差达($1\sim2\text{km}$), 并有地震活动。在空间重力异常场特征上, 整个南沙海槽为一条NE-SW走向的负重力异常带, 并且和地貌相当对应, 海槽最深处, 重力异常最低达 -60mGal ; 海槽两侧重力异常急剧增大, 形成明显的重力梯度值(图5)。此外, 南沙海槽的磁异常表现为低值异常区, 变化幅度较小, 平均热流值为

1.0HFU左右。因此, 推测这里是一条不活动的俯冲带。

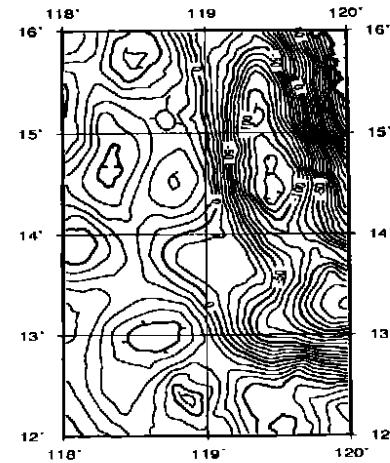
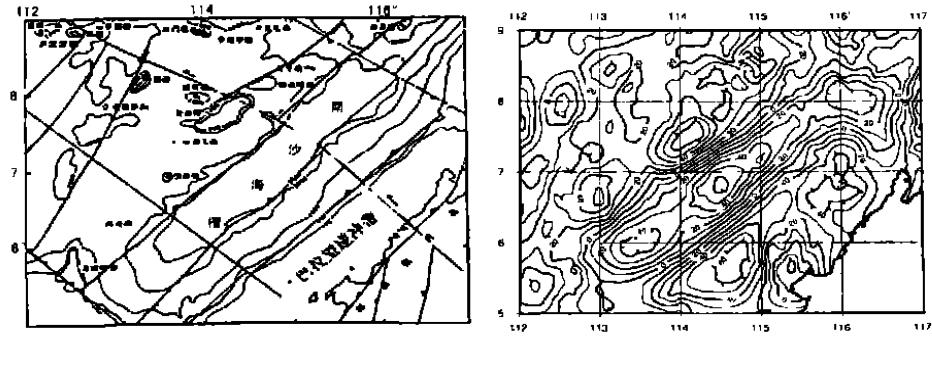


图4 马尼拉俯冲带空间重力异常特征

Fig. 4 Characteristic of Gravity Anomaly in Manila Subduction Zone



(a) 地质构造

(b) 重力异常特征

图5 南沙海槽及邻区的地质构造和其重力异常特征

Fig. 5 Geotectonic and Air Free Gravity Anomaly in Nansha Trough Area

1.4 印支半岛沿海断裂带

印支半岛沿海断裂带发育于海盆西部的盆-坡边界处, 沿 $109^{\circ}\sim109.5^{\circ}\text{E}$, 呈近NS向展布, 长达1 000多km, 地貌反差大, 垂直落差可达2km, 属张性陆坡断裂带, 沿断裂带附近有现代玄武岩喷发, 热流值平均达2.5HFU, 一条绝对差变化不大但很陡的重力梯阶带边界展布, 推测这是一条活动的岩石圈断裂(图6)。

2 南海地块的内部结构及空间重力异常特征

南海盆地的内部结构受一系列NE-NNE向和NW向断裂带控制。它们发育于南海的南部

和北部, 前者既是陆壳、过渡壳、洋壳的分界, 也控制了一系列同向裂陷盆地、岛屿或海槽发育; 后者常呈斜列式展布, 具有左旋平移性质, 错断NE-NNE向断裂, 这样就形成了现在所见的在南海中央海盆的北部有东沙、西沙、中沙群岛以及南沙北部海槽等, 在南部有礼乐滩、南沙群岛及曾母盆地等分布。

2.1 地壳结构

从海盆的地壳等厚图的整体上看^[2,3], 海盆西部和中部的地壳较薄, 往东和往北逐渐加厚, 但到北部边缘又减薄。最厚处在 $18^{\circ}\sim19^{\circ}\text{N}$, $117^{\circ}\sim120^{\circ}\text{E}$ 的近东西展布的区域, 地壳厚7.8~8.7km, 在北部盆-坡边界处, 地壳厚5.8km, 是磁异常平静处, 这里地壳较薄, 主要是沉积较薄所引起的。

2.2 重力异常特征

从重力异常图(图7)可以看出,南海地块内部的重力异常主要呈NE-NNE向展布,明显与海盆地形走向相关。在总体上,海槽和盆地呈负异常区,岛屿和海山呈正异常区。

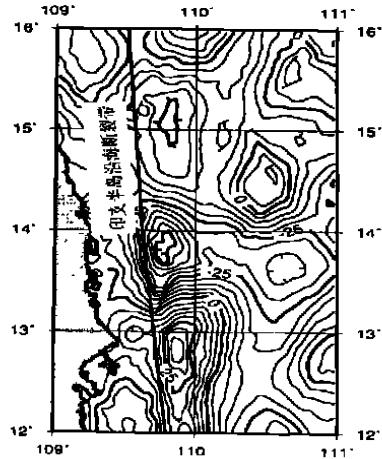


图6 印支半岛沿海断裂带重力异常特征

Fig. 6 Characteristic of Gravity Anomaly of Fault Zone Along Indochina Peninsula Coast

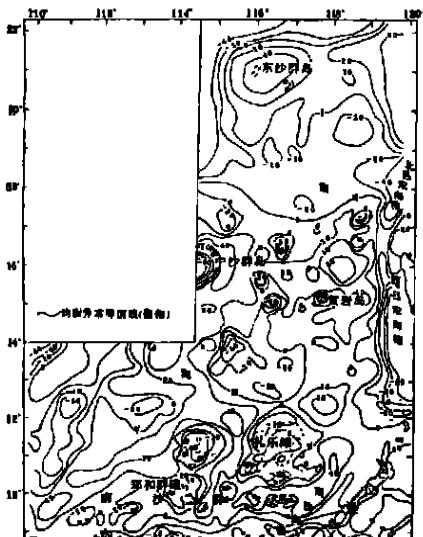


图7 南海线形均衡重力异常图
(等值线间距为 20mGal)

Fig. 7 Linear Isotropic Gravity Anomaly in China South Sea

2.2.1 正均衡异常区(大于+20mGal)

西沙、南沙、东沙群岛和中央海盆的东北角部分海区均在(+20~+50)mGal之间,高值原因是菲律宾板块向西及北北西俯冲,基性和超基性岩上升;另一方面,亚洲东部向东南蠕散的地幔流在这里受到菲律宾板块的阻隔,造成这个地区地幔

物质密度增大,地幔隆起,基性和超基性岩抬高,并在海底喷溢,珊瑚礁露出水面形成群岛,这个地区的均衡还在往正方向发展。中沙群岛和礼乐滩是残留的漂移陆地,异常值明显高于+50mGal,它是南海正均衡异常值最高的地方之一。南海的南北向扩张中心位于两者之间,其深部盈余的部分物质是南海扩张停止后,尚未释放出来的残留部分。

2.2.2 负均衡异常区(小于-20mGal)

负均衡异常区主要分布于南海海盆的NW部,均衡异常值在(-50~-20)mGal。高值负异常的成因主要是中央盆地扩张而受拉张,岩石圈变薄和地表呈断阶式陷落,现在这些地区构造应力还是张性,地表在沉降,造成岩石圈内质量亏损;另一方面,由于地球被拉张,所以地壳物质密度变小,这个地区均衡可能还往负方向发展。中沙群岛和礼乐滩周围均衡异常在(-30~-20)mGal,其质量亏损主要是在岩石圈内。它们现已慢慢上升,珊瑚礁露出,负均衡异常慢慢恢复。

中央海盆内有些海山,它的顶部均衡异常值低于-20mGal,这些地区也是南海均衡异常值较高地区之一,不过范围不大。这些海山大部分与海底岩浆喷发有关,其年代较新,可能是南海扩张尾声的残留部分。火山内部及其深处的地幔温度都高,其冷却是一个缓慢过程,所以其物质密度小,使得质量亏损。

2.2.3 均衡区((-20~+20)mGal)

均衡区包括图上零值线的两边。中央海盆的北部和东南部是比较老的地区,地壳形成的年代为(27~32)Ma,这两个地区在中央盆地15°附近的扩张轴两侧。在南海南北向扩张之前,它们在地幔深处可能是质量亏损的,经南北向扩张后,通过地幔的流动,使其内部得到物质补充而成为均衡区。

总的来说,南海的大部分海区是均衡地区,但是也存在许多较大的负的和正的不均衡区。南海近代的地震活动主要分布在马尼拉海沟断裂带和北缘闽粤滨海大断裂带附近,大于六级的地震时有发生,中央海盆相对较为平静,近期没有火山活动。这些也反映出南海大部分处于均衡状态。

3 结语

用卫星测高反演和恢复的高分辨率的南海重力异常可以较好地解释南海地区复杂的地块边界及其内部的细结构。但目前由测高数据反演的重

力异常还存在一些残余系统误差(如海面地形、局部海潮改正、近岸测高数据质量欠佳)的影响, 反演使用的模型及算法还不尽完善, 其精度和分辨率不匹配, 还低于船测重力测量, 需要进一步提高反演的精度。

参 考 文 献

- 1 姜卫平. 卫星测高技术在大地测量学中的应用: [博士论文]. 武汉: 武汉大学, 2001
- 2 陈艺中. 南海北部陆缘盆地沉降史. 南海地质研究, 1993, 5: 13~25
- 3 马杏垣. 中国岩石圈动力学纲要. 北京: 科学出版社, 1987
- 4 李继亮. 中国东南海陆岩石圈结构与演化研究. 北京: 冶金工业出版社, 1992
- 5 刘光鼎. 中国海区及邻域地质地球物理特征. 北京: 科学出版社, 1993
- 6 宋文尧. 海洋定位、重力测量及其地质地球物理解释.

北京: 科学出版社, 1993

- 7 王鸿桢, 杨森楠, 李思田. 中国东部及邻区中新生代盆地发育及大陆边缘区的构造发展. 地质学报, 1983, 57(3): 213~222
- 8 Lee T Y, Lawrence A L. Cenozoic Plate Reconstruction of Southeast Asia. Tectonophysics, 1995, 251: 85~138
- 9 Molnar P, Tapponnier P. Cenozoic Tectonics of Asia: Effect of Continental Collision. Science, 1975, 189: 419~426
- 10 Yuan Y R, Wang B G, Tang X Z, et al. Cretaceous-early Tertiary Paleolatitude Migration in the Sanshui Basin of South China Sea Rigion. Tectonophysics, 1994, 235: 117~129

作者简介: 晁定波, 教授, 博士生导师。现主要从事物理大地测量和空间大地测量的研究。代表成果: 全球重力场的确定, 局部重力场的逼近和卫星测高技术的应用, 等。

E-mail: dbchao@wtusm.edu.cn

Interpretaion on the Tectonics and Characteristics of Altimeter-derived Gravity Anomalies in China South Sea

CHAO Dingbo¹ YAO Yunsheng² LI Jiancheng¹ XU Jusheng²

(1 School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, China, 430079)

(2 Institute of Seismology, CSB, Xiaohongshan, Wuhan, China, 430071)

Abstract: This paper gives the interpretation on the characteristics of gravity anomalies implied by the tectonic block boundaries and their inner structures using the $2.5' \times 2.5'$ free air gravity anomalies derived with satellite altimeter data. The results show that the altimeter-derived gravity anomalies with high resolution are useful for investigating detailed structure of oceanic lithosphere and evaluating resource exploration.

Key words: gravity anomaly; satellite altimeter; inversion of tectonics

About the author: CHAO Dingbo, professor, Ph. D supervisor. His main research fields are the physical geodesy and space geodesy. His typical achievements include global gravity mode determination, local gravity field approximation and altimetry application, etc.

E-mail: dbchao@wtusm.edu.cn