

南海海域布格重力异常图 及莫霍面等深图*

刘祖惠 王启玲 袁恒涌 苏达权

(中国科学院南海海洋研究所)

南海是西太平洋最大的边缘海之一,面积约350万平方公里,地质构造复杂,资源丰富,是世界上最有可能的油气远景区之一。

近年来国内外地质工作者先后在南海开展了多次地质和地球物理调查,我们利用重力测量资料编制了南海海域布格重力异常图和莫霍面等深图,它不仅可估算地壳厚度,推断某些地质构造,了解海区重力场对大地测量坐标原点的垂线偏差的影响,还可提出如何进行详细的地质和地球物理调查的意见,对岩石圈的研究及油气预测具有重要意义。

底图系我所编制的南海地形图(墨卡托投影)。标准纬度为 17°N 。范围为赤道以北, 105°E 以东的南海地区。

一、布格重力异常图

我国的大地重力基点控制网系1957年所建,属波茨坦重力系统,正常场重力公式用采1909—1910年赫尔默特公式:

$$\gamma = 978.030(1 + 0.005302 \sin^2\phi - 0.000007 \sin^2 2\phi)$$

$\alpha = 1/298.3$;地壳平均密度取 2.67克/厘米^3 。

编制布格重力异常图的重力测量资料来源有三:

1. 两广沿海陆地和岛屿的重力资料系国家测绘总局陕西省测绘局所提供的我国自1957年以来重力基点加密控制的重力测量资料,以及由他们所收集经过换算的重力资料,测量精度在3毫伽以内。

2. 12°N 以北, 108° — 118°E 之间的资料系我所地质构造室重磁调查组自1976年以来使用国产海洋重力仪的实测数据,异常的均方误差为 ± 10 — 11 毫伽。

3. 12°N 以南的资料取自美国哥伦比亚大学拉蒙特-多尔蒂地质观察所编的《东亚及东南亚海域地球物理图集》中由瓦茨(A. B. Watts)主编的《空间重力场》。该图所用的正常场重力值公式系1930年国际重力公式

$$\gamma = 978.049(1 + 0.0052884 \sin^2\phi - 0.0000059 \sin^2 2\phi)$$

本文于1982年10月31日收到

*此图清绘和付印过程中得到蒋文奇、张小惠、邓婉旋等同志的帮助,图件说明得到刘昭蜀、杨树康同志的帮助,特此表示感谢。

$$\alpha = 1/297.0$$

对于后者的资料,除了作异常值系统的换算外,计算布格改正的水深值取自前述的《南海地形图》。重力异常图的等值线间距为50毫伽。

二、莫霍面等深图

作莫霍面的深度演算之前,我们先在成图的范围内选取了5个已知点,陆地上的已知点为“广州”^[1,2],其莫霍面深度值为31公里,与之对应的布格重力异常值为+10毫伽,海区的4个已知点为124C₁₇, 212V₂₈, 210V₂₈和126C₁₇,取自美国的《东亚及东南亚海域地球物理图集》中由海伊斯(D.E.Hayes)主编的《地壳构造图》。与之对应的莫霍面深度值分别为10.3公里、12.8公里、11.3公里和10.8公里。我们用逐渐逼近法进行估算验证后,最后选用了126C₁₇点作为海区的起始点,对应的布格重力异常值为+288毫伽。

计算方法取用Tomada和Aki在1955年根据离散信号连续化定理而提出的 $\sin x/x$ 方法^[3]。

珠江口外盆地的莫霍面深度运用了“深部重力异常”进行计算:从自由空间重力异常值中减去海水层和沉积层的影响,取得“深部重力异常值”;运用二维的 $\sin x/x$ 进行计算。而其他地区则直接用布格重力异常计算。这样分别计算的结果比较明显地反映了地壳形态和盆地构造的镜像关系。

在计算过程中我们根据 $\phi(n)$ 函数各项正负相间和逐项幅度递减的特点,采用有限项代替无限项求和,这里选用了 $n=11$ 和 $n=12$ 的平均值作为 $n \rightarrow \infty$ 时的计算结果。使区域周边的畸变得到了改善。

在计算过程中,海水密度取为1.03克/厘米³,沉积层密度取2.30克/厘米³,地壳平均密度取2.67克/厘米³,沉积基底下地壳密度取2.84克/厘米³,上地幔物质的密度取3.27克/厘米³。

计算结果表明,取用莫霍面深度值等于10.8公里和对应的布格重力异常值等于288毫伽的点作为推算莫霍面深度的起始点,在深海海域取得了比较满意的结果,与已知点对比差值小于1公里。莫霍面等深图等值线间距为2公里。

三、重力异常特征及地壳结构

南海布格重力异常总的特点是从陆架到陆坡向中央海盆阶梯状升高,地壳厚度相应减薄与海底地形呈对应的关系。重力异常走向东西两侧边缘呈近南北向,南、北边缘为北东向,中央海盆和南海北部则以近东西向为主,既反映了新生代北东东(近东西向)的构造背景,又保留了北东向的构造格局,表明了重力异常是地壳深部界面、区域构造和不同地层密度变化的综合反映。

1. 南海陆架区的重力异常特征

南海北部陆架区的布格重力异常,以零值异常为背景的正弱异常为主,变化幅度在

-20—+30毫伽之间,总体走向呈北东向,但显得零乱,自由空间重力异常为低幅度的负异常,莫霍面深度为26—32公里。北部陆架在新生代是一个拉张边缘,处于拉张应力场的背景之中,有大规模的断块活动,断层发育,并形成一系列地堑和地垒,在基底上,沉积了厚度不同的沉积层。在陆架的主要拗陷区,自由空间重力异常一般为低值负异常,莫霍面深度比周围相对抬升2—3公里,这反映了莫霍面隆起区,正是盆地的拗陷区。拗陷盆地或断陷盆地等与莫霍面形态呈镜像关系,已被国内外地球物理资料所证实,这一现象对预测油气远景是极为重要的。在陆架的隆起区,一般为正值异常。这是因为拗陷区有厚达数千米的沉积层,其密度较低(新生代沉积密度为 $1.5—2.5\text{克/厘米}^3$),虽然这些地区地幔物质上隆,但巨厚的沉积物使重力异常值偏低。北部的陆架区是华南大陆向海延伸部份,受陆上北东向构造和海区北东向、东西向和北西向构造的影响。而陆架基底起伏很大,断裂多,基岩复杂、多样,又被燕山期花岗岩和后期火山岩复杂化,形成了散乱的布格重力异常特征。

南部陆架区的布格重力异常背景值较高,大部份地区为+30—+50毫伽,陆架外缘达+70毫伽,总体走向东南部为北东向,西南部为近东西向。莫霍面的深度为24—27公里。从南、北陆架对比来看,南部陆架布格重力异常普遍比北部高,地壳薄,而且架、坡界限极其明显。在南部架、坡边界上布格重力异常梯度陡峭,成密集条状展布,是否与南部为挤压应力场有关。尚待进一步工作后予以查明。

2. 陆坡(岛坡)重力异常特征

南海的大陆坡是地形和构造最复杂的地区,从地壳结构来说是有陆壳又有洋壳的分布地带,南海北部陆坡布格重力异常走向呈北东与北东东向,异常值为+30—+220毫伽,由陆坡向海盆梯状增大,在陆坡外缘从+100毫伽增大至+220毫伽,表现为重力异常急剧增大的梯度带。海底地形为1500米—3500米的陆坡带,莫霍面的深度从25公里急剧减少到13公里。这些异常特征明显的受北东向为主的构造控制,表明北部陆坡区处于拉张边缘。在陆坡外缘向深海盆形成一系列阶梯状正断层和深切岩石圈的中央深海盆北缘断裂,成为北部陆坡和深海盆的自然分界线,在地壳上表现为陆壳和洋壳的直接接触。

近东西向的西沙北海槽把北部陆坡和西沙群岛分开。西沙北海槽的布格重力异常总体走向呈近东西向,异常值东高(240毫伽),西低(100毫伽),海槽南北两侧异常对称:中部高两侧低,中部变化平缓,两侧变化梯度较大。莫霍面深度中部为22公里,西部为25公里,往东逐渐减薄为15公里,并与深海盆洋壳北部相接。表明西沙北海槽在拉张的应力场中,东西向断裂张开,形成地堑型裂谷。裂谷两侧形成一系列阶梯断裂,地幔物质沿裂谷上涌,地壳变薄,形成海槽。从陆坡向深海盆呈阶梯状下降,发育有东沙台阶、中、西沙台阶和南沙台阶。

东沙群岛位于北部陆坡,水深300米左右,布格重力异常表现为增值异常。异常值为+40—+60毫伽,比周围地区升高+20毫伽。莫霍面深度为29公里,比周围厚1—2公里。这里由于东沙群岛的基底可能为密度较大的基性、超基性岩,而沉积层可能还存在有中生代沉积,其密度比新生代沉积层密度高,因此形成高值布格重力异常。

中沙群岛布格重力异常总体走向为北东向,异常值一般<+100毫伽,最低值在群岛东北部,为+20毫伽。在群岛周边,布格重力异常值梯度变化很大,东缘达10毫伽/公

里。自由空间重力异常在岛屿中部为正异常,边缘为负异常,莫霍面深度为24—27公里。

西沙群岛重力异常值低于中沙群岛,为+40毫伽—+70毫伽,变化较平缓。莫霍面深度为25公里。在西永—井钻遇花岗岩片麻岩,石英片岩,其同位素年龄627百万年(铷锶法)。混合岩中还见有后期花岗岩的侵入岩,其同位素年龄68.9百万年。

南沙群岛位于南部陆坡上,群岛的布格重力异常背景值较高,为+150毫伽,变化幅度较大,从+20—+150毫伽。异常总体走向为北东向。莫霍面深度为20—24公里。在礼乐滩附近钻至1250米处遇早第三纪陆缘、陆架、三角洲及深海沉积。

从上述资料可以看出,东沙、中沙、西沙、南沙群岛的基底是属于陆壳性质。由于北东向、近东西向断裂拉张,上地幔物质上升,形成新洋壳。中国华南大陆边缘断裂解体,成为发育在南海中的断块地垒。因此这些群岛保留了北东向的构造形迹,并被北东向和近东西向的断裂所包围。布格重力异常表现为高梯度带;群岛和华南大陆及陆架均为大陆型地壳,但各群岛的布格重力异常的背景值较高,我们认为东沙群岛的基底为基性和超基性岩,中沙群岛基底可能为火山岩和基性岩。西沙群岛被北东向、北西向、东西向断裂所围限,构造十分复杂,沿断裂地幔物质上涌,并形成喷出岩和侵入岩。南沙群岛是漂在古特提斯海洋壳上的大陆残块,因此这些群岛的重力异常背景值都较高。

西部陆坡是布格重力异常较特殊的地区,异常变化宽缓,变化幅度也不大,从+150—+220毫伽。异常走向不规则,并形成一系列封闭的高值和低值异常。空间异常以正弱异常为主,莫霍面深度多为15—20公里。形成这些重力特征主要原因可能是该区北部位于中央海盆北缘大断裂、红河大断裂、越南东部大断裂三条深大断裂呈Y字型交汇处,构造复杂,岩浆侵入持续不断,使重力异常呈现不规则而又零乱的特征。

3. 南海中央深海盆重力异常特征

中央深海盆于南海中部偏东北,海盆布格重力异常除在中部几个孤立的海山处为+100—+200毫伽的相对低值外,大部份为+250毫伽变化宽缓的高值异常。大于+300毫伽的异常值占深海盆面积近2/5,为封闭的场强较大的异常,最大值达+344毫伽。莫霍面深度大部份为10—15公里。在15°N附近,西、中沙群岛至黄岩岛一线,一系列近东西向排列的海底火山把海盆分为南北两部分:北部海盆的布格重力异常值为+250—+300毫伽,地壳厚度6—9公里,沉积物厚度达2—3公里。南部海盆布格重力异常值较北部高,大部份在+300毫伽以上,地壳厚度约5—7公里,沉积物厚度1公里左右。海盆南、北重力异常不同,表明在南海形成过程中,南、北海盆扩张的时间存在着差异。北部海盆形成的时间比南部海盆为早。

在深海盆四周边缘,布格重力异常为变化较大的梯度带。南、北边缘呈北东东—北东向,西部边缘呈北东向,东部边缘呈近南北向,表明深海盆为不同方向的深切岩石圈的断裂所围限。在海盆西侧的中沙群岛附近和南面的南沙群岛附近,为洋壳与陆壳接触界线。

深海盆中分布着大小不等、高出海底数千米的海山。这些海山主要集中在15°N附近和南部海区。海山的布格重力异常为孤立的变化幅度较大的减值正异常。布格异常值从海山周围的+250毫伽到海山顶部减小为+80—+90毫伽,莫霍面的深度为15公里左右。深海取样和拖网在海山附近均得到玄武岩块,表明海山多为海底火山喷发而成,由于

火山玄武岩气孔发育,密度较低,其布格重力异常低于洋壳玄武岩。但由于海山的重负,使洋壳下凹,莫霍面深度加大,从而使地壳暂处于均衡。

四、地质意义

南海处于不同性质大地构造单元的集合部。按板块观点,它是欧亚板块、澳洲-印度洋板块、太平洋板块的交汇处,具有复杂的构造应力背景和地质构造特征。南海及其邻域以红河-基纳巴鲁断裂为界,东北部为亚洲滨太平洋构造域,西南部为特提斯构造域。南海经历了两次地壳的变格运动,陆壳大规模断裂解体,多次、多轴扩张,形成了南海形态呈长轴为北东向的菱形断陷扩张盆地,以及一系列构造成因的海底地貌单元。

南海发育在华南大陆边缘和西太平洋边缘之间,既有陆壳也有洋壳。陆架的布格重力异常多为低值的正、负异常,地壳厚度在26—32公里之间,为大陆型地壳。深海盆的布格重力异常为+250毫伽以上,地壳为6—9公里,具有与大洋相似的地壳结构,属大洋型地壳。陆坡(岛坡)的重力异常和地壳厚度变化较大,有陆壳,也有洋壳,陆壳以岩石圈断裂为界与洋壳接触。中、西、南沙则是残留在洋壳中的前寒武纪大陆碎块。

南海基底较复杂,晚中生代—新生代的张裂活动和海底扩张,使中、西、南沙地块从华南大陆分离,华南和印支陆块延伸入海,构成南海的复杂基底。因此南海有前寒武纪和加里东、海西、印支、燕山期的褶皱基底。

南海的断裂活动强烈,边缘分别被北东向和南北向的岩石圈断裂所围限和控制,具有不同的性质。北缘为拉张边缘,南缘为挤压边缘,西缘具张剪性质,东缘为先张后压边缘。南海海盆以北东向和近东西向断裂最为发育,这是因为南海经历了始新世晚期至渐新世早期的北西—南东向和中渐新世至早中新世南北向的两次拉裂、扩张,形成了一系列张性正断层。对这一系列断裂,重力异常均有明显反映,异常走向以北东和近东西向为主,并表现为重力异常的高梯度带。从北东向和东西向两组断裂的切割关系来看,北东向断裂发育较早,控制了南海的主要构造格局、外形轮廓和各个地貌界线的展布。近东西向断裂在深海盆中代表了东西向为主体的张裂构造系,玄武岩流沿近东西向断裂喷溢,形成新的洋壳。因此这两组断裂控制了南海的形成和发展,成为菱形地堑,发育一系列断陷盆地和海底高原。强烈的断裂活动伴生了活跃的和规模巨大的岩浆及火山活动,陆架中的岩浆和火山活动,使陆架基底复杂化。深海中的火山活动形成一系列海底山,基性和超基性岩的喷溢形成了最初的洋壳。

参 考 文 献

- [1] 宋仲和、谭承业, 1965, 用瑞雷和乐夫面波群速度确定我国地壳厚度, 地球物理学报, 14(1):33。
- [2] 丁颢玉, 1965, SP波与我国地壳厚度, 地球物理学报, 14(8):168。
- [3] Chuji Tsuboi, 1956, Crustal structure in Northern and Middle California from gravity-pendulum data, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 67, 1641-1648
- [4] Dennis, E. and D.E. Hayes, 1973, Geophysical atlas of East and Southeast Asian Seas, Office Intern, Decade Ocean Explor. Nat. Sci. Found.

CONTOURS OF BOURGUER'S GRAVITY ANOMALIES AND DEPTHS OF MOHOROVICIC DISCONTINUITY IN THE SOUTH CHINA SEA

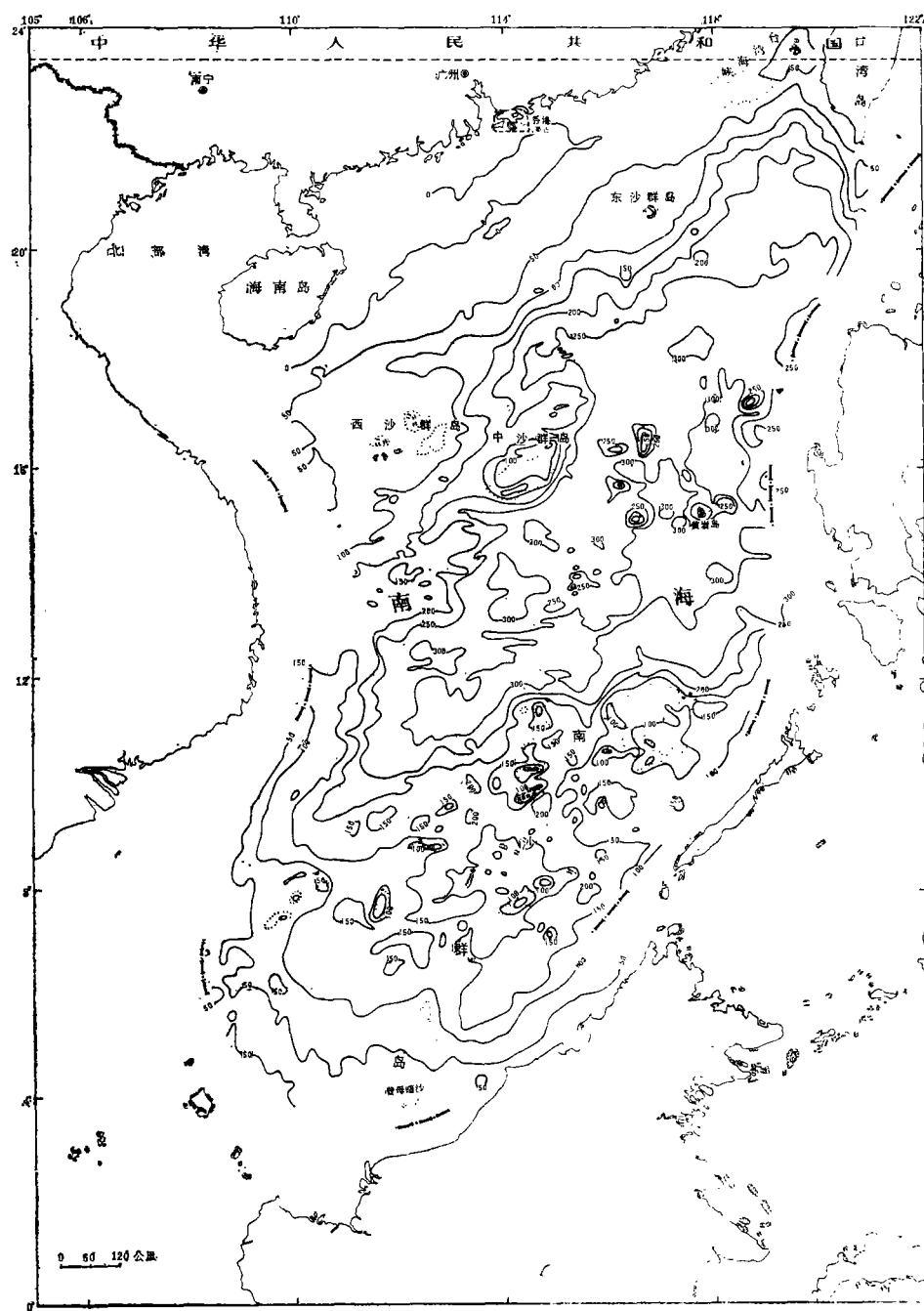
Liu Zuhui Wang Qiling Yuan Hengyong Su Daquan
(South China Sea Institute of Oceanology, Academia Sinica)



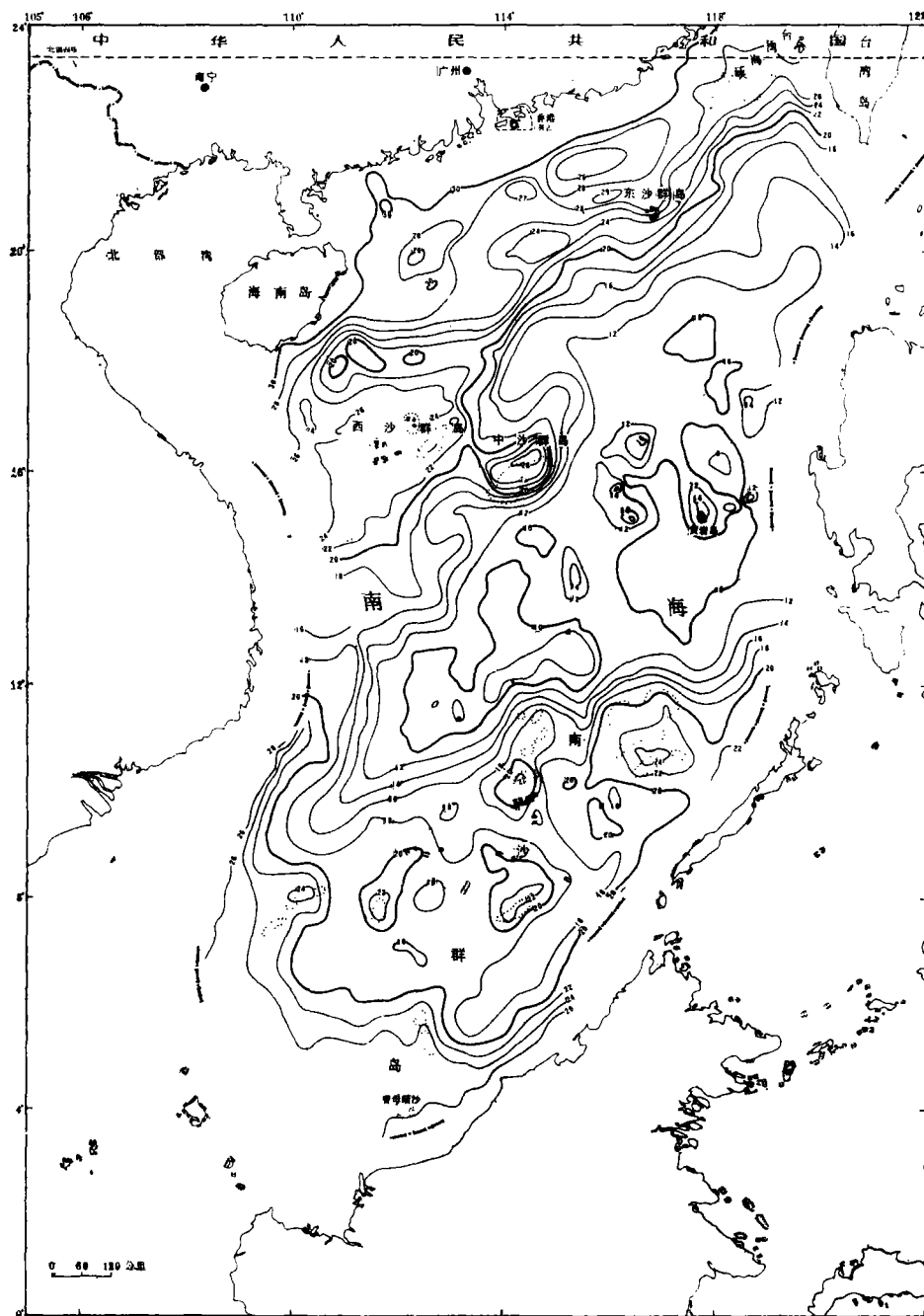
《中国及邻区海陆大地构造图》 即将出版发行

由中国科学院地学部委员、该院地质研究所所长张文佑主编，中国科学院地质研究所、南海海洋研究所、海洋研究所以及北京大学地质系、南京大学地质系、新疆地质局地质研究所、河北省地震局等单位科研人员参加编制的《中国及邻区海陆大地构造图》(1:500万)即将出版发行。这是我国第一张海陆结合的大地构造图。

该图以大地构造学家张文佑教授的“断块构造学说”为指导，运用地质力学分析与地质历史分析相结合的方法，在 70—160°E, 12°S—55°N 的广大地区内，研究了大陆型地壳构造域，过渡型地壳构造域和大洋型地壳构造域的区划及活动方式，它们的现今分布与演化历史。



南海海域布格重力异常图



南海海域莫霍面等深图