

第 30 届国际地质大会论文集



第 13 卷

海洋地质学

古海洋学

许东禹 主编



地质出版社

第 30 届国际地质大会论文集

第 13 卷

海洋地质学 古海洋学

许东禹 主编

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本卷文集根据最新研究成果,从不同侧面论述了当代海洋地球科学前沿课题的进展情况,其中包括中国及邻区边缘海地质构造特征及其演化、末次盛冰期时的西太平洋边缘海对季风的影响及其环境效应、北大西洋深层水的形成、地中海海脊增生体上泥火山的形成、盐沼湿地边缘陡坎的成因、西太平洋富钴结壳的生长史以及太平洋的新生代古海洋事件及成矿作用等。本书资料丰富,观点新颖,对科研、教学和生产均有较高的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

海洋地质学 古海洋学 /许东禹主编. -北京:地质出版社,1999.4

(第30届国际地质大会论文集;第13卷)

ISBN 7-116-02771-8

I. 海… II. 许… III. ①海洋地质学-国际学术会议-文集②古海洋学-国际学术会议-文集
N. P736-53

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第08644号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路29号)

责任编辑:章雨旭 周继荣

责任校对:关风云

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092 1/16 印张:7.5 字数:173000

1999年4月北京第一版·1999年4月北京第一次印刷

印数:1—500册 定价:18.00元

ISBN 7-116-02771-8

P·1992

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

第 30 届国际地质大会论文集英文版共 26 卷,已由荷兰国际科学出版社(VSP)于 1997 年全部出版。中文版由第 30 届国际地质大会组织委员会编辑,地质出版社出版。

第 30 届国际地质大会论文集卷目

- 第 1 卷: 地球的起源和历史
- 第 2 卷: 地学与人类生存、环境、自然灾害
- 第 3 卷: 全球变化
- 第 4 卷: 岩石圈构造和深部作用
- 第 5 卷: 现代岩石圈运动 地震地质
- 第 6 卷: 全球构造带 超大陆的形成与裂解
- 第 7 卷: 造山带 地质填图
- 第 8 卷: 盆地分析 全球沉积地质学 沉积学
- 第 9 卷: 21 世纪能源矿产和矿产资源 矿床地质 矿产经济学
- 第 10 卷: 地学新技术方法
- 第 11 卷: 地层学
- 第 12 卷: 古生物学 地史学
- 第 13 卷: 海洋地质学 古海洋学
- 第 14 卷: 构造地质学 地质力学
- 第 15 卷: 火成岩岩石学
- 第 16 卷: 矿物学
- 第 17 卷: 前寒武纪地质学和变质岩石学
- 第 18 卷: 化石燃料地质——石油、天然气和煤
- 第 19 卷: 地球化学
- 第 20 卷: 地球物理
- 第 21 卷: 第四纪地质
- 第 22 卷: 水文地质
- 第 23 卷: 工程地质
- 第 24 卷: 环境地质
- 第 25 卷: 数学地质和地质信息
- 第 26 卷: 比较行星学 地质教育 地质学史

目 录

以弧后盆地形成为重点的南海地球物理调查	
..... Hajimu Kinoshita, Yukari Nakasa, 刘昭蜀, 夏戡原(1)	
南海地体系迁移与碰撞	李家彪(24)
中国及邻区边缘海的演化	金翔龙(35)
11. 5Ma 前气候变冷引发的北大西洋深层水的形成	
..... Wuchang Wei, A. Peleo-Alampay(44)	
末次盛冰期时的西太平洋边缘海——对环境信号的放大作用和对季风气候的影响 ...	
..... 汪品先, M. Bradshaw, S. S. Ganzei, S. Tsukawaki,	
K. Bin Hassan, W. S. Hantoro, S. Poobrasert, R. Burne, 赵泉鸿, H. Kagami	(51)
地中海海脊增生复合体上(ODP Leg160)的泥火山钻探研究.....	
..... A. Robertson, 船上科学家小组(67)	
英格兰南部克赖斯特彻奇港在堆积沉积环境中盐沼湿地边缘陡坎的成因	
..... 高抒, M. Collins(74)	
麦哲伦海山铁锰结壳的纹层	I. Pulyaeva(86)
太平洋古海洋事件和成矿作用.....	许东禹(101)

以弧后盆地形成为重点的南海 地球物理调查

Hajimu Kinoshita

(Japan Marine Science and Technology Center, 2-15 Natsushima,
Yokosuka, Japan)

Yukari Nakasa

(Ocean Research Institute, University of Tokyo, 1-15-1 Minamidai,
Nakano, Tokyo, Japan)

刘昭蜀 夏戡原

(中国科学院南海海洋研究所, 广州 510300)

摘 要 通过 1993 年和 1994 年历时两年的日中海洋地球物理合作调查, 获得了南海弧后盆地张开的基础数据。通过对南海的反射和折射研究, 获得了一些新的重力、磁力和地震构造数据, 丰富了已有数据。这是该盆地首次系统的磁力三要素测量。这些数据加上已有的那些数据可作为描述陆壳变薄以及由于海底扩张导致弧后盆地张开的约束。推测南海张开的模式, 可以这个地区的重力和磁力异常、热流、已钻探岩石的年代资料为依据。杂乱无章的磁力异常条带是沿南海扩张海脊系构造断续活动的结果。

关键词 弧后盆地 地震构造 磁力异常 重力异常 演化

1 引言

南海位于欧亚板块、太平洋板块和印度板块交汇的大陆和大洋构造域之间(图 1)。该盆地已成为地球科学综合研究的目标。研究南海特征的原因之一是它可作为被动大陆边缘研究的理想场所。如果南海年代很老, 则足以提供被动边缘发育的完整历史, 如果它年轻, 则保存了它的历史记录。本文在几个地球物理参数以及新得到的扩张方向和地壳深部构造的基础上, 讨论了南海北部地壳扩展的可能机制。我们的研究目的之一, 是通过估计产生磁力线性模式的磁化体方向, 来详细确定南海大洋盆地内的分节扩张轴。

因为南海是表现西太平洋特征的许多边缘海中的一个主要成员, 所以它在理解西太平洋构造演化方面也是很重要的。此外, 边缘海张开引发的全球特征可通过南海的演化和裂谷作用以及与世界上研究最好的北大西洋边缘的陆-洋边界分裂的比较而体现出来。

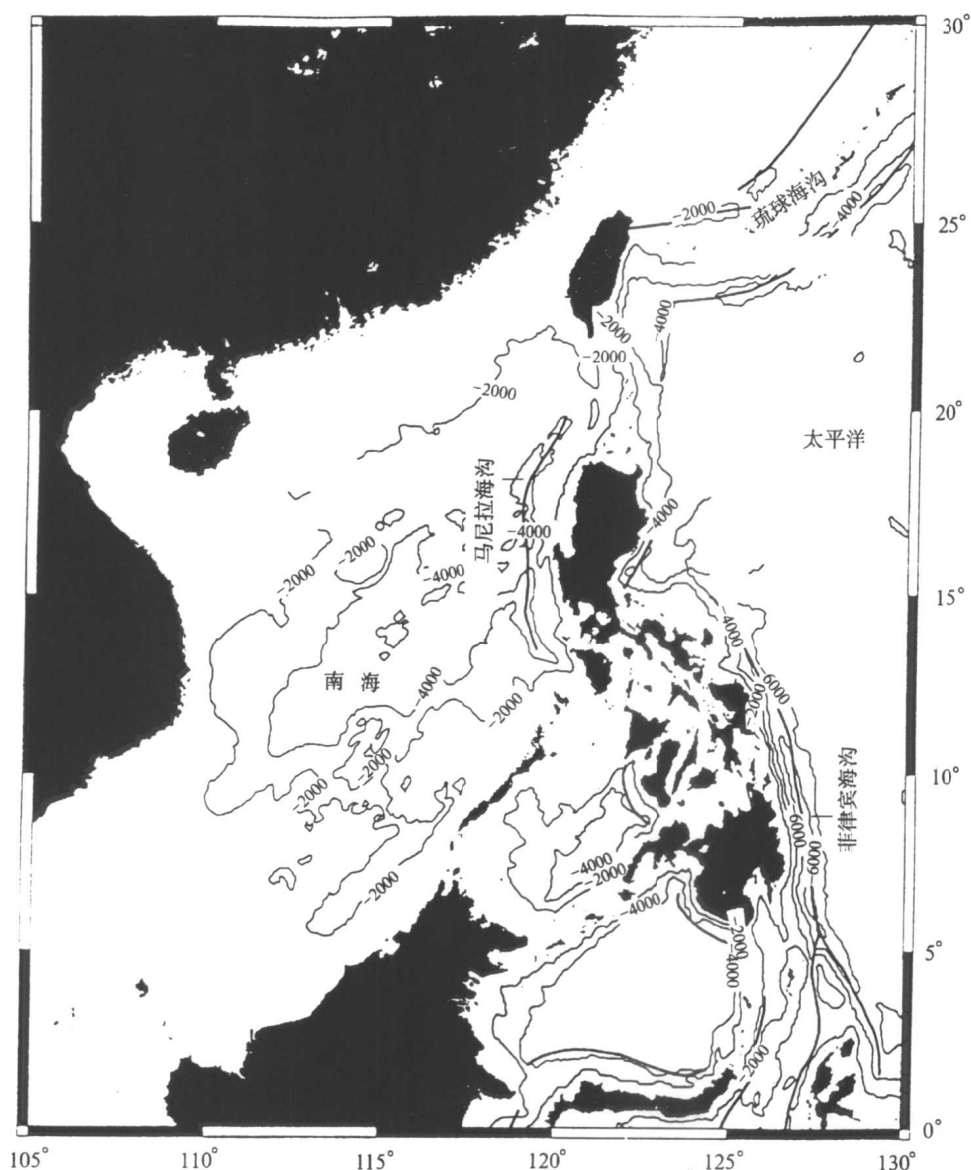


图1 南海周围海沟和太平洋的主要构造单元

南海的东北边界为NNE向地质构造控制的台湾岛弧；东部边界是菲律宾岛弧，其由NE到NNW向地质构造控制；南部边界是加里曼丹岛弧；西部边界明显由越南近海断裂控制。伴随着海西残余块体和燕山基底的形成，这些构造单元起源于喜马拉雅时期。

根据新近的地质和地球物理数据^[1]，发现了一个边缘缝合线，它位于中南半岛，由白垩纪到早始新世的南北走向的火山建造组成。该缝合线是巽他(Sunda)陆架与南沙凹陷的分界线。

地壳内部水平应力的分布，在北部边缘为明显的张力，而在南部边缘则为挤压^[2]。地壳的厚度是不均匀的。清晰的盆地海脊体系方向、张开时间和地壳变形速率显示了大地构造非均匀性的复杂特征。不同特征的共生双构造带形成于大陆边缘向大洋盆地转换的燕山期^[3]。

从地震速度结构分析得到的洋壳厚度与西太平洋洋壳厚度明显不同^[2]。

这里对南海的形成有各种推测性的解释。这些推测主要以几何分析为基础。Taylor 和 Hayes^[4]提出南海东部张开的方向从南北向改变到 NW-SE。Ru 和 Pigott^[5]提出了它存在两期扩张和三幕张裂。Briais 等^[6]指出在扩张方向的变化上有些模糊,指出在同样磁条带资料基础上,可有不同的几种解释。Lee 和 Lawver^[7]指出除了过去的区域地质背景,南海的整个张开历史可由构造组构、古应力型式、地质数据和古地磁数据来解释。

南海盆地可分成几个构造单元(图 2)。从热流数据估算中央海盆北部的年代为 45~51.1Ma,而西南次海盆的年代接近 15Ma^[8~10]。

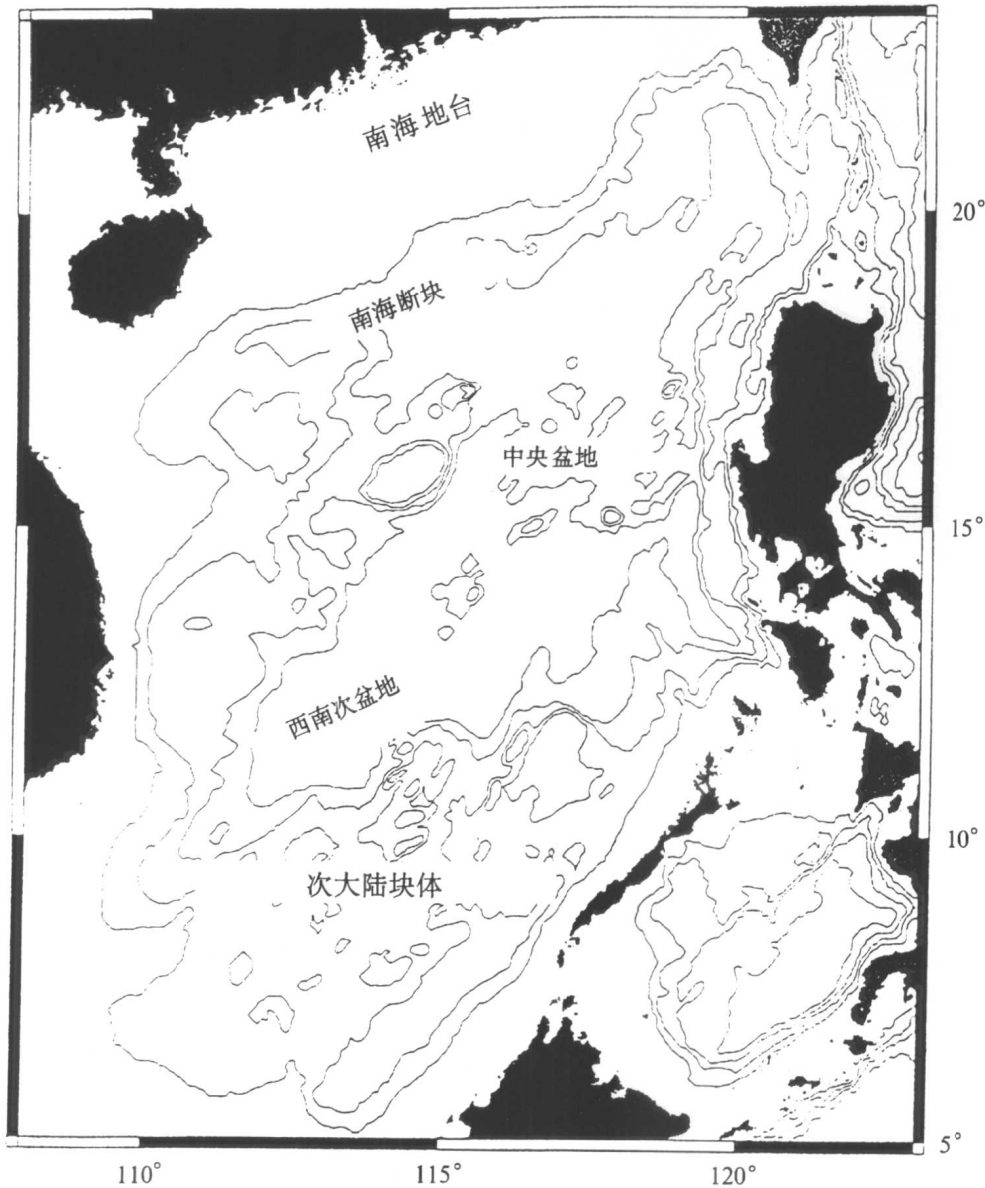


图 2

南海盆地的构造单元:南海地台、南海断块、中央海盆、西南次海盆和南部的次大陆块体

从南海年代分布来看,与大陆边缘扩展有关的中央海盆扩张之后,北东向线性断裂体系被激活^[9,11~16]。南海的扩张活动向西蔓延,形成西南次海盆。中央海盆的洋壳被断裂体系所包围,这些断裂在磁场和重力值上表现为大的梯度,而且其两侧地壳厚度存在明显的变化。

盆地的中心部分有许多高地(图 3),尤其是斯卡伯勒海山链,它指示了最近大约 12Ma 的火山活动^[17]。因此,该盆地在地貌上以 115°E 经线为界,可分成东部和西部两部分。此后,东部命名为中央海盆,西南部分为西南次海盆。莺歌海盆地在盆地的西北部,位于海南省和

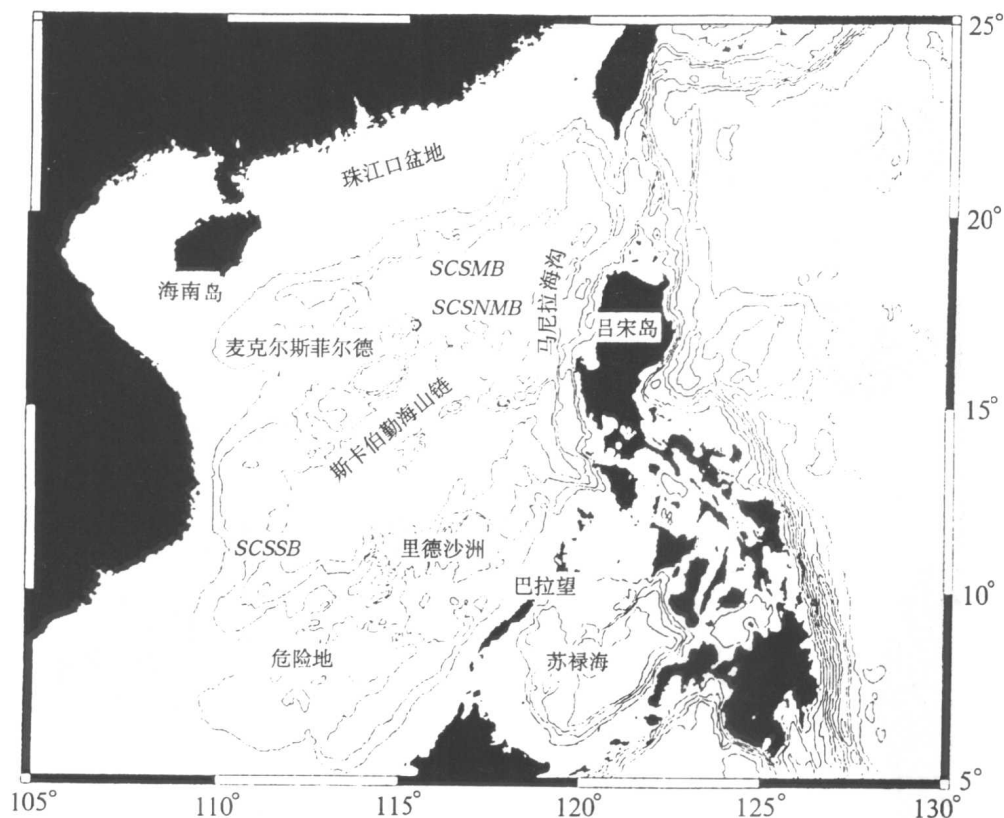


图 3 南海的地质单元和深海盆地的分布

SCSMB、SCSNMB 和 SCSB 分别指南海边缘盆地、南海盆地的北部(即图 2 中指的中央海盆)和南海盆地的南部(即图 2 中指的西南次海盆)

越南海岸之间,它是一个很大的沉积盆地^[18]。

中央海盆一直沿南北向延伸的马尼拉海沟向下俯冲^[19~21]。另一方面,中央海盆的西南、南沙海槽和里德滩(Reed Bank)以及麦克斯菲尔德滩(Macclesfield Bank)由小陆块组成,这些或许是中国南部陆缘的残余物^[22,23](图 3)。

对南海的重力补偿机制运用纵向响应函数进行了研究^[24,25]。从南海的纵向电导率响应来看,必须考虑两种不同的补偿模型,即艾里型和弹性板型。目前研究的结果表明南海盆地的大部分地区保持局部的均衡现象。

沿着陆洋过渡带(以后简称 COB,图 4)有一个 200km 长、10km 宽、走向东西的低磁力和低重力带。在低磁力异常带下面的下地壳和上地幔之间,已确定地震高速层的 V_P (纵向的

地震波速)为 $7.0 \sim 7.3 \text{ km/s}^{[26]}$ 。它暗示了镁铁质的地幔物质位于拉伸的陆壳下面。

本文集中讨论下列问题:

- (1) 南海的张开历史。
- (2) 地形和重力之间的关系。
- (3) 陆洋过渡带周围低磁力和低重力的正演模拟。
- (4) 南海的裂谷系与北大西洋边缘裂谷系的比较。

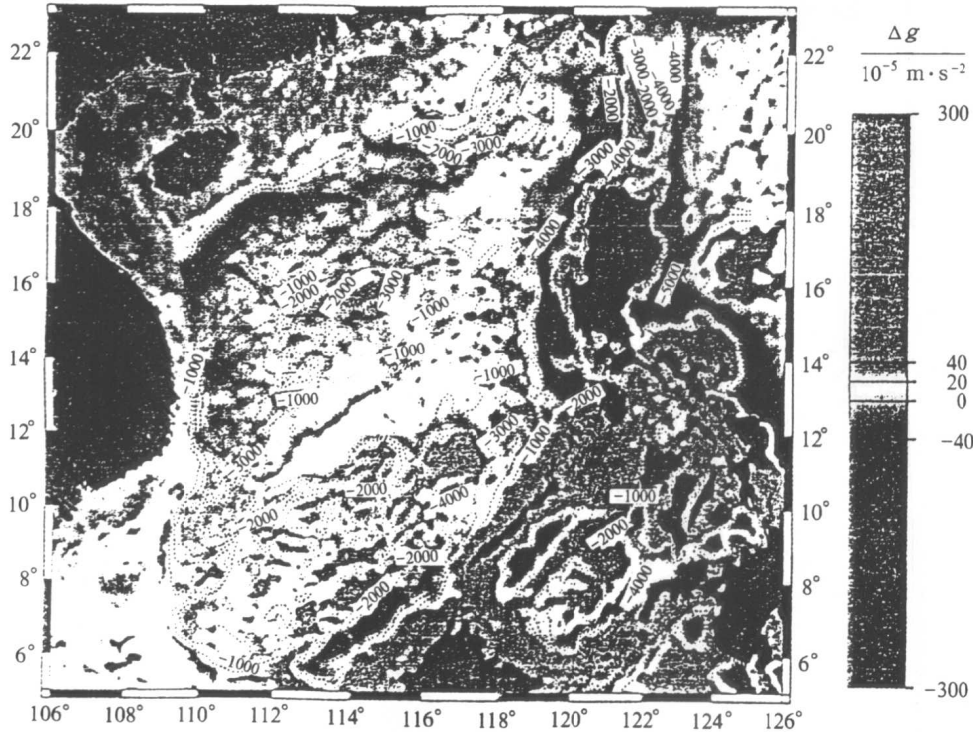


图 4 GMT 数据与新近调查的数据结合绘制的自由空间异常等值线图

异常趋势走向与海岸线平行,变化范围是 $-20 \times 10^{-5} \sim +20 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。沿 NE 海岸线到海南岛南部的低负值指的是本文中的 COB

2 调查

日中联合进行了南海东北区段的地球物理调查。这次调查的目的是弄清陆洋过渡带上及周围地区的地壳构造的变化。调查中采用了 15 个洋底地震仪(OBS),获取来自控制的声音的地震信号。共做了 3 条测线的勘探剖面:一条 NWN-SES,大约长 390km,另两条 EW,大约长 160km(图 5)。从气枪中发出的信号用单道水听器海上拖缆和洋底地震仪同时记录。地震反射调查在几条测线上进行。用来确定海底地层最上部的地震建造。重力和磁力三要素测量(船上的三要素磁力仪为 STCM)也沿测线进行。宽角度反射也可以由洋底地震仪记录下来,并且对高度非均质地震构造提供好的界定。

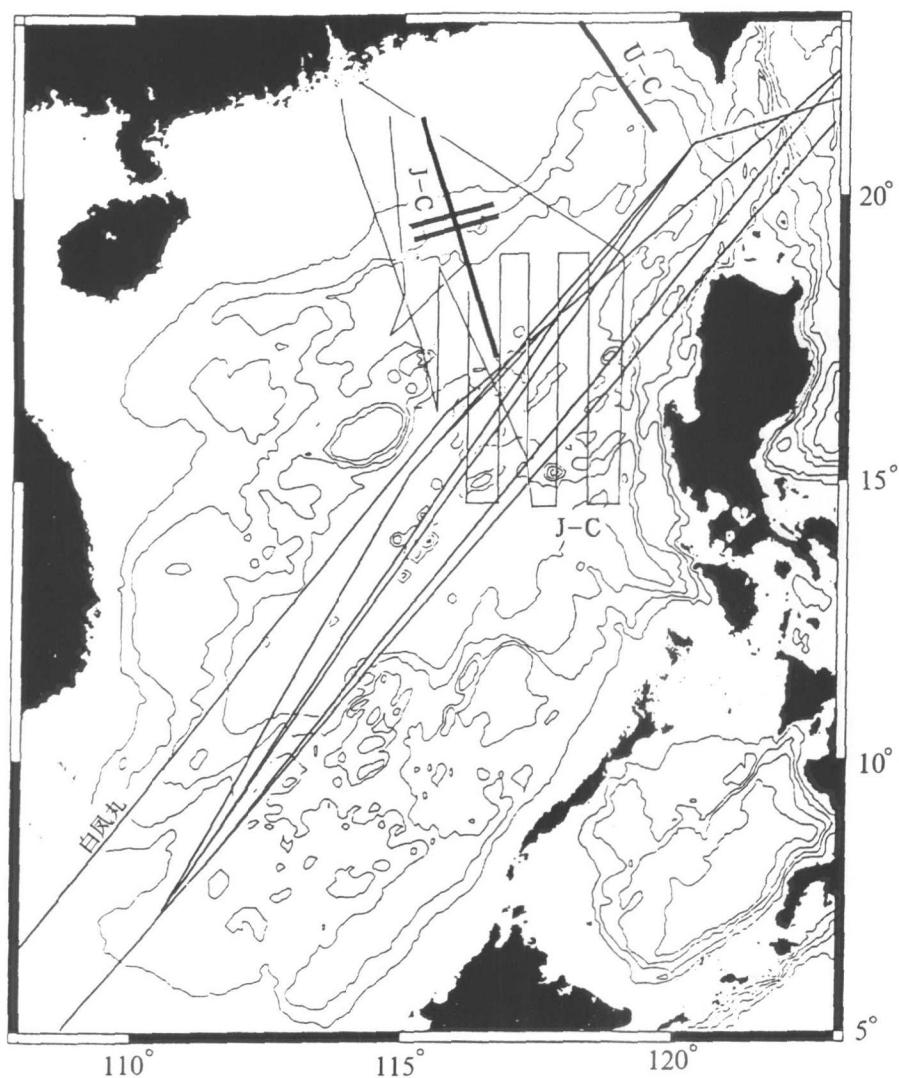


图5 1993~1994年在南海东北区段日中联合研究的地球物理调查测线
测线为J—C;沿这些测线进行了地震反射调查、重力和磁力三要素测量;细线(白凤丸)为东京大学
白凤丸调查船调查的测线;U—C指的测线由美中共同完成(详细资料见本文)

3 地震和地质构造

在整个南海地区,沉积盖层主要由新生代地层组成,局部下伏中生代残余物质。基底岩石和地壳结构显示出很不均匀性。根据沉积物分布,南海从北到南可分成3个部分——北部陆缘块体(南中国大陆块体)、大洋盆地(南海盆地)和南部陆缘块体(南沙大陆块体)^[3,27]。

北部陆缘块体包括珠江口盆地和它南部的隆起边缘。它的北部边缘由半地堑和向南倾斜的正断层控制的阶梯断层组成。中部和南部为许多半地堑和向北倾斜的断层控制的断层坡面。

珠江口盆地和北部湾盆地具有早第三纪平行海岸线的大规模扩张特征^[9]。半地堑内充填物为早古新世—早渐新世地层,主要为河流沉积物^[18]。

洋盆内(中央海盆和西南次海盆)水深达 3~4km。北部和南部边缘都由向内倾斜的正断层限定。该地区可细分为中央海盆、中沙北海脊和西北海盆。海底扩张产生了两个海盆(中央海盆和西南次海盆),并且海底崎岖不平;中间海岭上隆,显示扩张轴的痕迹。

南部陆缘地块包括礼乐(里德)滩和南沙海槽区,为扩张构造。它的南部下沉时,北部上隆,并且内部扩张形成一系列的半地堑和断层坡面。

麦克斯菲尔德、巴拉西尔(Paracel)、礼乐滩、北巴拉望(Parawan)和危险地(南沙海槽)都是大陆块体的残余^[18]。按照地震反射剖面,南海的西北和东南边缘的构造相似^[3,23]。

3.1 上地壳地震结构的已有成果

基底地层与沉积盖层有明显的区别。沉积盖层有 3 个构造超层序^[28]。南海地质-地球物理系列图中给出了地壳结构的解释。代表中生代和新生代两个主要构造事件的两个区域不整合面把基底地层分开。上部地层上覆在渐新世地层之上,并由北部边缘整个区域中的上始新世至现在的不同层位的组分组成。

中间地层主要由古新世—始新世地层组成。年代开始于晚白垩世,结束于中始新世,这个地层在南部边缘广泛发育,然而在盆地中没有发现。由此可以看出,南海盆地在渐新世之前是不存在的。

上部基底地层在陆架边缘南部的礼乐滩(里德滩)和南沙海槽有所发现。钻探和拖网取样的样品都显示其含有上侏罗统—下白垩统页岩,上三叠统—下侏罗统砂泥岩和中三叠统深海页岩。

声波基底下方的岩石是火成岩—变质岩。基底在年代和建造上变化很大。在深海盆地地区,基底由玄武岩以及从磁力异常模型中估算的早渐新世—早中新世(32~17Ma)期间海底扩张的产物组成。有些海山由海底扩张停止以后中新世以来的熔岩喷发产物构成。27 个钻孔提供的资料表明,北部边缘地区基底为中酸性火成岩。该地区岩石的 K-Ar 同位素测年为 70.5~130Ma,即白垩纪^[2]。

双船地震扩展剖面和声纳浮标数据揭示,南海的地壳和岩石圈向大洋盆地逐渐变薄^[29,30]。这些数据反映了由于构造扩张所致的南海边缘地区的构造地壳变薄现象。

3.2 大洋基底的已有成果

反射基底地形与海底地形没有关系。与粗糙的声波基底相比,从大陆架至盆地的海底相当平滑。根据穿过陆洋过渡带的三条剖面情况来看^[31],没有发现地震高速层,并且与目前的结论相比,东部陆海过渡带下面也不存在高速层。

根据地震波速度的差异,大洋基底可分成两层,分别对应大洋层 2 和层 3^[31~33]。层 2 的速度为 4.6~6.2km/s,厚度为 1.5~3.5km。层 3 的速度为 6.6~7.4km/s,厚度为 1.5~3km。

在北部边缘,基底有上部和下部两个壳层,上层速度为 5.2~6.1km/s,厚度只有 1~3km。下层速度为 6.5~7.0km/s,厚度不确定。

在南部边缘地区,至今还没有提供折射研究中得出的速度数据。根据反射地震资料的速度分析,上部基底的速度为 3.5~5.9km/s。

3.3 目前研究得到的地震结构

目前的联合研究在南海北部边缘进行了地震折射和反射调查。对地震记录剖面运用了二维射线追踪法。第一次搞清了南海北部上地幔深度以上整个地壳的结构(图 6)^[26]。这个结果表示了地壳地层向大洋盆地方向逐渐变薄,最后只有大陆架厚度的二分之一。过渡带似乎延伸了 100km。在下地壳下面有一个地震层,它的速度比周围相同水平面上的层明显要高。看来是陆壳延伸了,延伸到目前研究地区周围的陆洋过渡带内 200km。

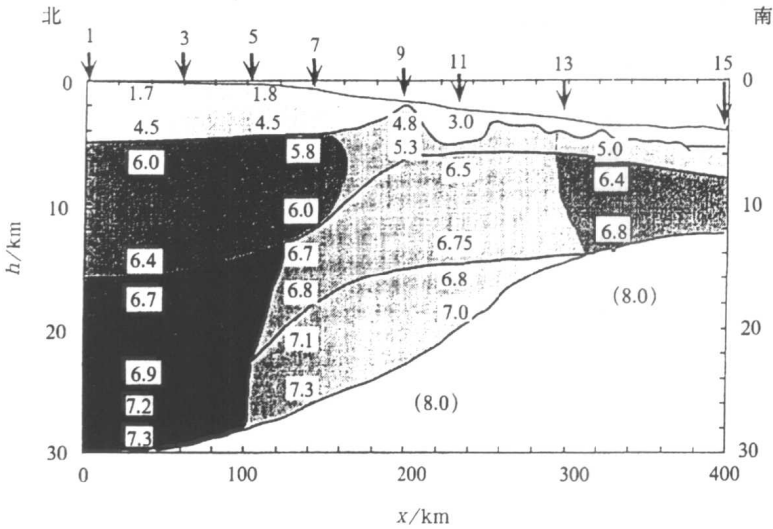


图 6 对地震记录剖面运用射线追踪法,从 15 个地震观测点得到的地震折射研究的结果深度和与海岸线的距离(参考图 5)分别标在纵轴和横轴上;地震 P 波速度值的单位是 km/s;在 15 个观测点中,有 8 个位置表示在图上

3.4 地质构造概述

综合迄今所有可用资料,南海盆地的地质构造可描述如下:

- (1) 在南北边缘区,盖层主要是中生代和新生代沉积,不整合和构造地层显示出南方和北方类似的层序。
- (2) 深海盆地具有大洋基底,在其上只有上渐新统一现代的沉积盖层。因此,南海深海盆地极有可能在早渐新世之后形成。
- (3) 只在陆洋过渡带下面有限的区域内发现了地震高速层物质。
- (4) 有上白垩统一始新统和上始新统一现代的双层结构,下层是半地堑充填物,上层为超覆物。

4 磁力数据

陆洋过渡带中有一个伴随着低重力的清晰的低磁力^[3]。Taylor 和 Hayes^[9]提出磁静区

(以后简称 MQZ)是陆洋过渡带的反映之一。日中联合项目的调查区覆盖了南海的东北部。跟踪测线超出了陆洋过渡带。横向间距约 50km 的 8 条平行的南北船迹线覆盖了 Chron5d 至 11 号异常。

4.1 以前的研究资料

从中选出的海洋地磁异常资料均系公开资料,来自于美国国家海洋和大气局(NOAA)的国家地球物理数据中心(NGDC),1993~1994 年日中合作考察和白凤丸(日本海洋研究所)1989 年和 1993 年航次中得到的总磁力和磁力三要素数据。

NGDC 数据中的磁力异常剖面被调整到 IGRF90(1990 国际地磁参考场^[34])。用 Akima 方法在 10km 的磁场网眼中转换成网格数据^[35,36]。运用 Briggs 方法描绘成磁力异常等值线图^[37]。

4.2 磁场三要素

目前的调查运用 STCM 体系。地磁场的总强度和三要素测量值通过获得比单一质子磁力仪更多的定量磁场信息来得到。假设磁场由局部磁场和船诱导产生的磁场的线性叠加产生。STCM 的优点是我们只要辗过磁性体一次就能测定它的延伸方向,但这必须在假设磁性体的延伸长度比传感器到磁源体中心的距离大很多的前提下进行^[38]。

STCM 的缺点是高放大系数的金属合金传感器,其灵敏度随温度变化相当大。测量磁场总强度的质子磁力仪拖在船后面,通过数据处理来消除 STCM 灵敏度的变化。

用假叠加方法获得磁力异常特征曲线的方向^[39]。STCM 资料提供了一些有关磁条带方向的定量信息^[38,40],这些资料也可提供磁极界限的位置和走向^[41]。

4.3 数据处理

根据不同的磁力数据密度把研究区分成了几个区域。把磁力异常和 ETOPO5 地图上的地形进行比较(全球范围的测深/地形 5'×5'的网格数据,NOAA,NGDC,1988)。把异常特征曲线比作根据“地质年代表”,由二维块体模型计算出的综合剖面^[42]。综合剖面由变化的地层厚度、磁化强度和偏斜度组成。迭代法能很好地确定这些参数。

在南海的东北区段,STCM 测量的总磁场强度和磁场三要素结果总结如下(图 7、8)。

(1) 确定了 SCS 北部边缘有一个明显的磁静区。

(2) 发现深海盆地北端的清晰磁异常条带为 32Ma(Chron11)。

(3) 在整个的北部深海盆地出现半扩张速率为 22~33mm/a 的连续海底扩张(Chron11 至 5)。

似乎有许多具有水平断错磁力线性特征曲线的断裂或者断层,尤其是在中部斯卡伯勒海山周围明显的破碎地区。由于海脊系的分割,线性特征曲线的方向在不同的地方都有变化。线性特征曲线的走向确定为 NE50°,其中有 10°的偏差。在活动期,盆地的张开模式图可能不仅在整个时间内是均匀的,而且在海脊系的每一个区段都是均匀的。

海底扩张的方向用 STCM 数据得到。把目前的数据与白凤丸调查船 1988 和 1993 航次(图 5)得到的数据结合起来,可看出海底扩张的方向首先为南北向,20Ma 以后变为 NNW-SSE。南海海底扩张总的方向与以前研究的是一致的^[43]。

5 陆洋过渡带的磁静区

南海的磁力异常有两个:一个是陆洋过渡带内明显的磁静区;另一个是像以前剖面中描

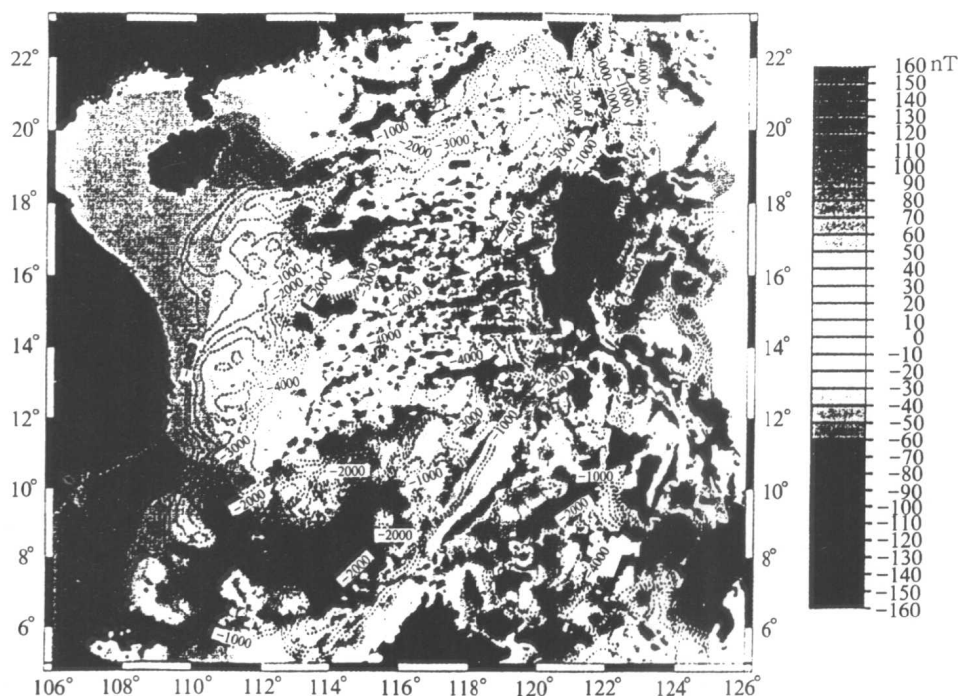


图7 南海东北区块总磁场及磁场三要素的调查结果

在中央海盆(参考图4)的西北角存在一个明显的磁静区。地震资料表明它上覆于地幔之上的高速层上

述的中央海盆中一系列的线性特征曲线。MQZ的放大照片显示出这个异常沿着该区左旋水平断错边缘扩张至珠江口盆地。对该磁静区有两种解释。一个潜在的起因是在白垩纪长期持续的逆磁极期内,地层的单极和负的磁化强度。另一种可能为由于一些构造活动,像强的热液退色作用,使地壳内部限定区再磁化或者退磁。

层4顶面的深度为12~25km,比居里面(由于加热使磁性消失的深度)深得多。因此假设只有两个地层带有磁化强度,即沉积盖层下面的上地壳和下地壳的上部。

MQZ地层中物质的反向磁化强度的变化范围为2.5~4.5A/m(Zhang,私人通讯)。与南海深海盆地中基岩类似的典型洋中玄武岩的剩余磁化强度相比,这个值相当低。本文第8节将给出正演模拟更详细的描述。

6 重力

自由空间异常(FA)等值线图绘在有水深线的底图上^[44](图4)。低振幅FA的变化范围是 $-20 \times 10^{-5} \sim +20 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$,看似与海岸线平行。沉积物沉陷产生了重力低值或者负值,重力高值可能与裂谷地区相对应。在整个南海盆地,FA的振幅基本上都在 $-20 \times 10^{-5} \sim +20 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 之间变化。较高的异常值 $+120 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 位于台湾的中央山脉地区。极小值 $-130 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 位于马尼拉海沟的南面。南海中央海盆中的FA通常为北东或北东东走向。南部陆架的振幅变化范围是 $-25 \times 10^{-5} \sim +5 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$,相对高值对应着岛屿区。

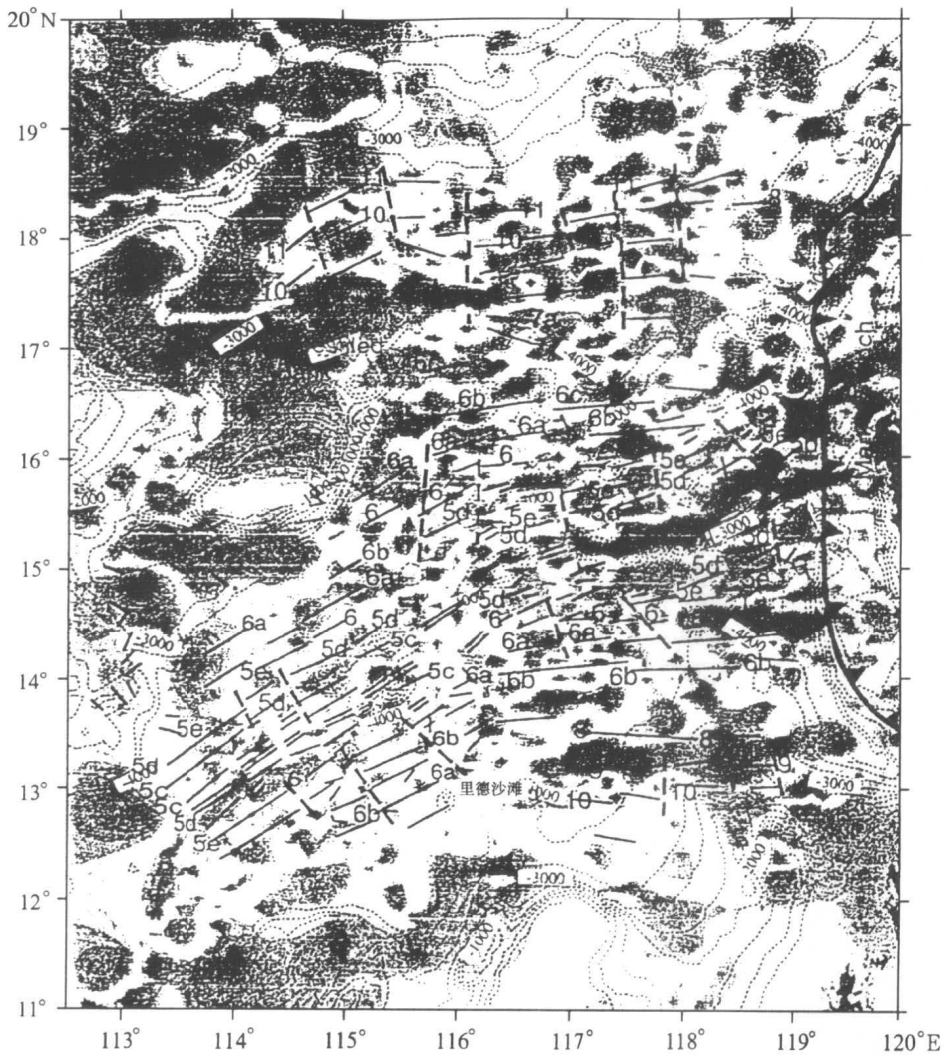


图8 中央海盆和西南次海盆的磁力线性特征曲线以及由模型计算得到的古地磁年代

沿 NE-SW 走向的 $0 \sim -20 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 线性低重力异常是扩张轴的痕迹。在珊瑚海盆地类似的特征解释为由于地壳和地幔交界的物质缺乏^[45]。在中央海盆、斯卡伯勒海山链 (5Ma)^[17] 沿扩张轴发现的高重力异常值为 $+340 \times 10^{-5} \sim +30 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 。Taylor 和 Hayes^[4,9,46] 提出 FA 低值标志了洋壳朝陆的边界。在整个南海地区, FA 相对低的振幅说明了均衡补偿机制控制了整个深海盆地地区^[24]。盆地边缘的高梯度带 (约 $10 \times 10^{-5} \text{m} \cdot \text{s}^{-2} / \text{km}$) 暗示了进入上地幔的断层具有的不同物质的密度圈定了大陆—盆地边界。

南海的布格重力异常 (BA) 从大陆架 ($-10 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$) 向中央海盆 ($+340 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$) 逐渐升高。在南海的中央海盆异常走向近似东西向, 东部、西部边缘为南北向, 北部、南部边缘为 NE-SW 或者 ENE-WSW, 形成了长轴为 NE 向的菱形轮廓。

7 力学上和重力上的稳定性

莫霍面上地壳的重力补偿作用可用地形和重力之间的纵向响应函数来加以研究^[47,48]。通常试验的三个模型为：①完全的地壳均衡；②弹性和③动态平衡。第三种情况只能在有足够量的、与时间变化有关的区域数据的地区应用。我们可以应用前两种方法来很好地了解南海的补偿机制。

运用 1993 年得到的重力数据和全球重力数据^[44]，并参考横穿大陆和海洋边界以及盆地的卫星重力和地形数据，按照测线方向，这些剖面能分成 7 个部分：①西沙，②大陆-海洋边缘，③东北盆地，④东南盆地，⑤中沙，⑥西南次海盆，⑦南沙地区（图 9）。平均声波基底深度在北、南、西南盆地为 6.0km，在西沙为 6.0km，中沙为 1.5km，南沙为 2.5km，大陆-海洋边缘为 3.0km。重力异常通过地形负载重量反映了板块的挠曲效应^[24,49~55]。Walcott^[56,57]、Watts 和 Talwani^[58]提供了这项技术的详细情况。

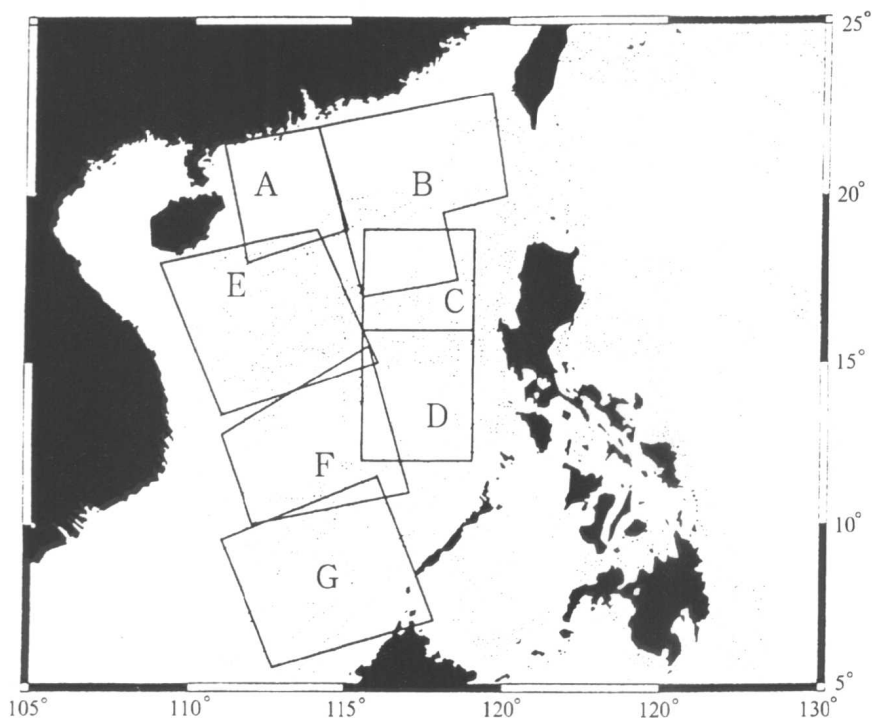


图 9 根据测线方向，重力数据分成的 7 个部分

A—西沙；B—大陆—海洋边缘地区；C—中央海盆的北部（参考图 2）；D—中央海盆的西南部分（参考图 2）；E—中沙；F—西南次海盆（参考图 2）；G—南沙地区；从几何形态上验证了这些地区有关的力学特征

南海七个部分的特征如下^[59]：

（1）西沙凹陷：共有 8 条剖面，六次理论计算与下伏于 8km 厚地壳下的 2km 厚弹性板模型吻合得很好。

（2）大陆—海洋边缘：低重力带（也是 MQZ）分为 3 个区块，每个区块都有不同的力学