

南海海洋科学集刊

NANHAI STUDIA MARINA SINICA

第 5 集

中国科学院南海海洋研究所 编辑

科学出版社

56.3 8083

南海海洋科学集刊

NANHAI STUDIA MARINA SINICA

第 5 集

中国科学院南海海洋研究所 编辑

科学出版社

1984

内 容 简 介

《南海海洋科学集刊》第五集收集了海洋科学研究成果和论文共 16 篇。其中,海洋地球物理有《南海中央盆地热流值的初步分析》一篇,海岸河口方面有《华南沿海潮汐通道类型特征的初步研究》和《海南岛东南岸地貌特征与潮汐通道》等两篇;海洋生物方面有:《南海东北部海域金枪鱼类仔鱼夏季分布特征》、《西沙、中沙群岛海域鹦嘴鱼类 (Scaridae) 的研究》、《西沙、中沙群岛附近海域叶绿素含量的分布》、《广东沿岸浅水柳珊瑚的研究》和《海南岛三亚湾底栖贝类的初步调查》等五篇;海洋气象方面有《南海台风生成发展的综合预报》和《双台风的相互作用》等两篇;海洋沉积、海洋化学和污染方面有《南海东北部海水中铀浓度及其同位素组成的探讨》、《珠江口海区底质中重金属与介质要素的相关回归分析》、《珠江干流广州河段水体中汞存在形态的探讨》、《用 AOU 指示南海北部海区中层和深层水环流的探讨》、《原子吸收光谱法测定防污漆渗出液中的三苯基氯化锡》和《海水溶液中三苯基氯化锡的光度法测定》等六篇。这些研究成果和论文对于开发和利用南海海洋资源、海洋水产渔业、航运交通、海洋工程等科研、教学、生产部门都有一定参考价值。

南海海洋科学集刊

第 5 集

中国科学院南海海洋研究所 编辑

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1984 年 4 月 第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1984 年 4 月 第一次印刷 印张: 10 5/8 插页: 8

印数: 0001—1,520 字数: 246,000

统一书号: 13031·2525

本社书号: 3464·13—17

定 价: 2.10 元

目 录

南海中央盆地热流值的初步分析	夏戡原、陈 雪 (1)
华南沿海潮汐通道类型特征的初步研究	王文介 (19)
海南岛东南岸地貌特征与潮汐通道	宋朝景 (31)
南海东北部海水中铀浓度及其同位素组成的探讨	刘 韶、秦佩玲、吴良基 (41)
南海东北部海域金枪鱼类仔鱼夏季分布特征	陈真然、魏淑珍 (51)
西沙、中沙群岛海域鹦嘴鱼类(Scaridae)的研究	杨家驹 (57)
西沙、中沙群岛附近海域叶绿素含量的分布	刘学东、刘承松 (63)
广东沿岸浅水柳珊瑚的研究	邹仁林、陈友璋 (67)
海南岛三亚湾底栖贝类的初步调查	齐钟彦、马绣同、林光宇、林碧萍 (77)
南海台风生成发展的综合预报	黄志兴、刘嘉玲、程志强 (99)
双台风的相互作用	徐家隼 (111)
珠江口海区底质中重金属与介质要素的相关回归分析	何悦强、李新龙 (121)
珠江干流广州河段水体中汞存在形态的探讨	罗伟权、陈国清 (133)
用 AOU 指示南海北部海区中层和深层水环流的探讨	吴林兴 (139)
原子吸收光谱法测定防污漆渗出液中的三苯基氯化锡	
.....	吴仕权、黄汉树、肖丽莹 (153)
海水溶液中三苯基氯化锡的光度法测定	徐梅春 (161)

CONTENTS

A Preliminary analysis of Heat Flow Data of the Central Basin of South China Sea	Xia Kanyuan, Chen Xue (17)
Preliminary Studies on the Characteristics of Tidal Inlet Pattern along the Coast in South China	Wang Wenjie (29)
Geomorphic Features and Tidal Channels of the Southeastern Coast of Hainan Island	Song Chaojing (40)
A Discussion on the Uranium Concentration and its Isotopic Composition in Seawater Samples from the Northeastern South China Sea	Liu Shao, Qin Peiling, Wu Liangji (49)
An Investigation on the Summer Distribution of Tuna Fish Larvae in the North-eastern South China Sea	Chen Zhenran, Wei Shuzhen (56)
The Parrotfish Fauna (Family Scaridae) of the Xisha-Zhongsha Islands in the South China Sea	Yang Jiaju (61)
Distribution of Chlorophyll in the Adjacent Waters around Xisha-Zhongsha Islands, South China Sea	Liu Xuedong, Liu Chengsong (66)
Study on the Shallow-water Gorgonacea from the Coast of Guangdong	Zou Renlin, Chen Youzhang (74)
A Preliminary Survey on the Benthic Mollusks from Sanya Harbor, Hainan Island	Qi Zhongyan, Ma Xiutong, Lin Guangyu, Lin Biping (98)
Forecasting for Formation and Development of Typhoons in the South China Sea	Huang Zhixing, Liu Jialing, Cheng Zhiqiang (109)
Interaction of Binary Typhoons	Xu Jiajun (119)
Correlated Regreession Analyses of the Heavy Metal Elements and the Environmental Factors as Media in the Bottom Sediments of Zhujiang Estuary	He Yueqiang, Li Xinlong (131)
Study on the Forms of Mercury Occurrence in Water Bodies in the Guangzhou Section of the Main Stream of Zhujiang (The pearl river)	Luo Weiquan, Chen Guoqing (137)
Indicating the Middle and Deep-Water Circulation of the North Part of South China Sea with A. O. U.	Wu Linxing (152)
The Determination of Triphenyl-tin Chloride of Leaching Liquor from Antifouling Paint by Atomic Absorption Spectrometry	Wu Shiquan, Huang Hanshu, Xiao Liying (160)
Spectrophotometry of Microgram Amounts of Triphenyl-tin Chloride (TPTCL) in Seawater Solution	Xu Meichun (166)

南海中央盆地热流值的初步分析*

夏戡原 陈 雪

(中国科学院南海海洋研究所)

海洋热流测量工作始于五十年代初,从 1956 年起,许多学者如 Bullard, Von Herzen, Gerard, Nason, Lee, Uyeda, P. J. Grim 和 M. J. Langseth 等陆续发表了测量成果。其中一个很重要的发现是:大洋中央海岭处热流值高,向两侧随远离海岭轴逐渐降低。在随后的年代里,热流研究工作集中研究了大洋中央海岭处热传导的模式,从而使海洋热流的研究进入一个新的阶段。通过研究大洋中央海岭热传导与对流的特征,推动了板块构造学说的发展,加深了对岩石圈热传导性质的认识。

关于大洋中央海岭热传导的模型及其理论推导不同学者有不同的见解,本文主要根据 1975 年普林斯顿大学 W. J. Morgan 的模型^[8]。这里,我们引用这个模型的原理及其热传导方程的解,以它作为研究边缘海热传导的参考。

南海及其邻近的几个西太平洋边缘海热流值的资料主要引用美国哥伦比亚大学拉蒙特-多哈蒂地质观测所与日本东京大学地震研究所 1978 年合编的《热流、热传导和热梯度图》^[9]。日本海的热流数据是根据日本东京大学地震研究所的上田诚也等 1966 年的成果^[10]。总的来说,和大洋中央海岭的研究程度相比,边缘海热流的研究还是很不够的。比较系统研究这一海域的是东京大学地震研究所的渡部挥彦(T. Watanabe)与美国拉蒙特地质观测所的 M. G. Langseth 与 R. N. Anderson 等人。1977 年,他们联合发表了《西太平洋弧后盆地热流》的论文,详细研究了从海沟到岛弧到弧后盆地热流值的分布特征^[11]。

本文在分析南海中央盆地热流值的分布特征时,主要从两个方面来考虑,一是勾绘热流等值线图,找出热流分布与构造的关系,另一是对热流与构造的关系进行统计分析,了解热流随构造距离的变化关系。在统计分析的基础上对南海及其邻近的几个西太平洋边缘海的热传导模式进行探讨,求出热流与年龄的关系,并对这些边缘海的年龄作初步推算。

应该看到,南海及其邻近边缘海热流测站还是不够多的,如南海中央盆地西缘断裂的西北侧没有热流测站,盆地东南部测站稀少,勾绘热流等值线很困难。国外认为在南海东部,北纬 15° 附近可能存在一扩张轴,但由于这个海域缺少热流资料,从现有的热流数据尚不能证实。另外,菲律宾海热流的测量工作大致是沿东西方向的测线进行。由于测

* 本文在撰写过程中得到本所苗祥庆、黄慈流同志的支持和帮助,插图由殷佩英、李明珍清绘,在此一并致谢。

线间的距离太大,许多海区没有测站,缺少重点追踪某些重要构造带的测线,如 Parece Vela 裂谷,其他地球物理方法(如重磁力测量)已证实此裂谷的存在,而高热流值并不出现在裂谷的轴部,而是断断续续地分布在轴部以东的洋底。因此,我们只能根据现有资料进行分析,十分明显,随着今后测量工作的深入,新的规律性将会不断地发现。

一、南海中央盆地热流值的分布特征

在美国哥伦比亚大学拉蒙特-多哈蒂地质观测所与日本东京大学地震研究所合编的东亚与东南亚海区热流、热传导及热梯度图中^[9],南海中央盆地共有 36 个热流测站,图上勾绘了导热率等值线,未勾绘热流等值线。我们根据这 36 个热流测站上标注的热流数值勾绘了热流等值线图(见图 1)。

(一) 南海中央盆地热流分区

从图 1 可以看出,南海中央盆地按热流值的高低,热流等值线的形态,可将其分为四个区。

1. 东部边缘低热流区

热流值在 0.34—1.88 HFU 之间。这里在构造上是马尼拉海沟与巴拉望海槽存在的海域。这个海域测站稀疏,特别是巴拉望岛以西海域,但还是可以看到这一海域热流值是整个盆地最低的海区。图中热流等值线的形状其走向与构造线的走向平行,为北北东向和北东向。在北纬 15°20',东经 119°30' 附近海底,有一高达 2.9HFU 的测值,从其位置来看,似应位于西吕宋海槽中。这里出现高热流值的原因不详,可能和这一海域东部陆上中吕宋西部三描礼士山脉为一超基性杂岩和苏比克湾附近出现大量晚第三纪到现代的火山有关。三描礼士山脉靠近中吕宋的西海岸,沿山脉的西侧有一向西仰冲的断层,使超基性杂岩与岸边的中新世—上新世的沉积岩相接触^[10]。三描礼士超基性岩向西的掩冲可能与马尼拉海沟西部地壳向东的俯冲有关。这个地区的构造活动性可能产生较高的热流。另外,也有人认为这个高热流值的出现可能和南海中央盆地中已经熄灭的扩张中心的消减作用有关^[10]。关于南海中央盆地扩张中心的位置,C. Bowin 等人已有著述^[7],他们认为这个扩张中心的位置位于东起吕宋西海岸外的管事滩(Stewart Bank)向西延伸到中沙群岛附近,方向为东西向。根据 Hayes 和 Taylor 的磁测资料,认为应在 C. Bowin 提出的位置以南约 100 公里处^[10],也即图 1 表示的位置。关于扩张中心处热流值的分布特点,由于测站太少,勾绘扩张中心处热流等值线图是困难的。由于这个海区热流测值太少,这个高热流值(2.90HFU)与扩张中心的关系,还不清楚。

2. 中央盆地北部中等热流值区

这个区位于西沙、中沙群岛联线以北,热流值在 1.48—2.46 HFU 之间,等值线的展布方向为北东偏东。本区北部有一断裂带,即南海中央盆地北缘断裂(见图 1),但断裂带附近未见高热流值。

3. 西沙北海槽中等偏低热流区

本区位于北部中等热流区与南部高热流区之间。热流值在 1.80—1.99HFU 范围。等值线略成北西方向展布。

4. 中央盆地南部高热流区

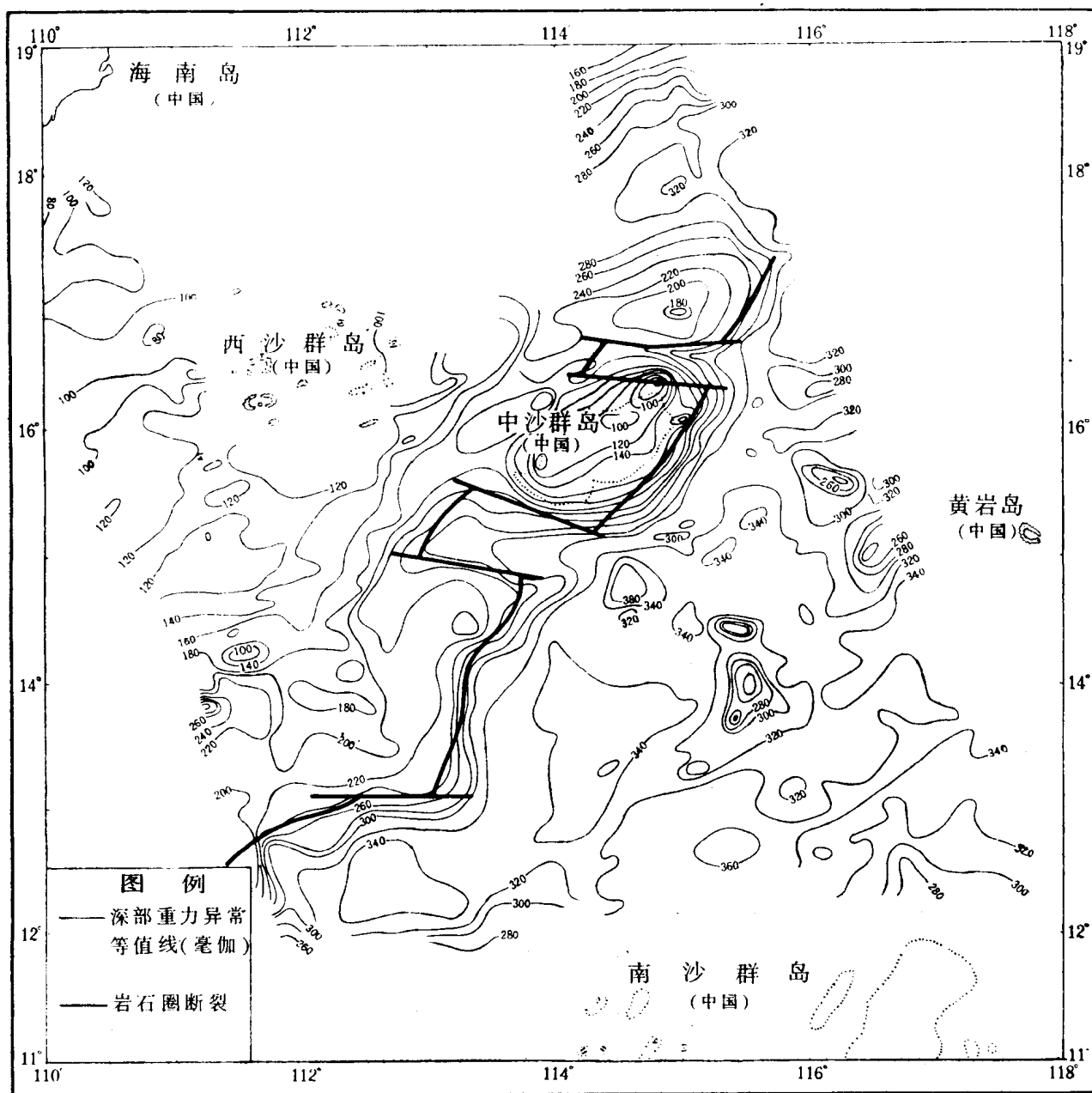


图2 南海中央盆地西缘断裂海区深部重力异常图

本区包括西沙群岛、中沙群岛及其以南海区。这里是盆地热流值最高的海区,热流值在2.11—3.63HFU之间,热流等值线为北东向弯曲形态,其展布方向和盆地西缘断裂是一致的(断裂见图2)。高热流值出现在断裂的东侧,随远离断裂轴热流值迅速降低。

关于盆地西缘断裂的性质,从我们所作的重磁力测量工作可以得到一些认识。图2为这一海区深部重力异常等值线图。深部重力异常是指去掉海水、沉积岩层,也即这个异常是反映花岗岩层顶面以下的重力异常,称为深部异常。图2仍然可以清楚地看到盆地

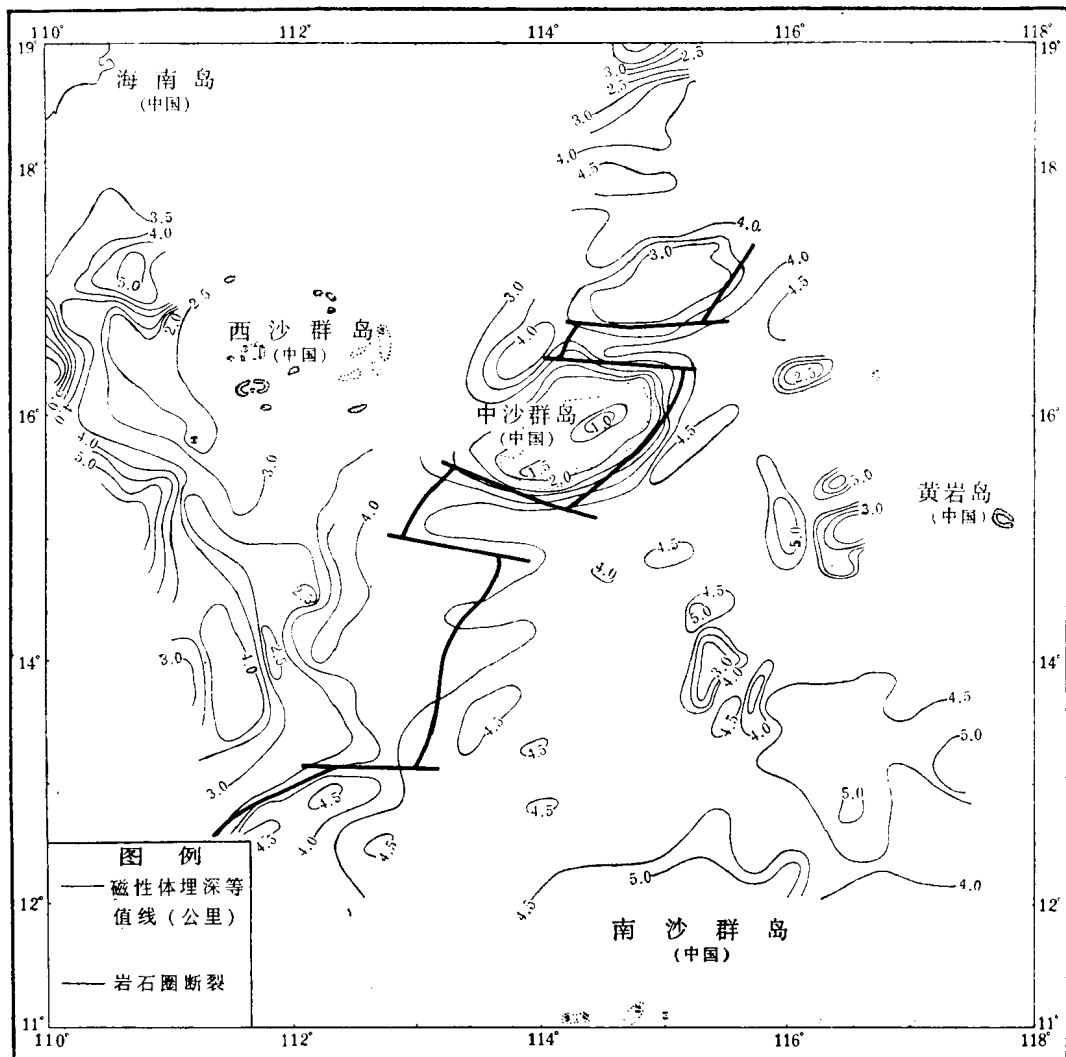


图3 南海中央盆地西缘断裂海区磁性体最小埋深图

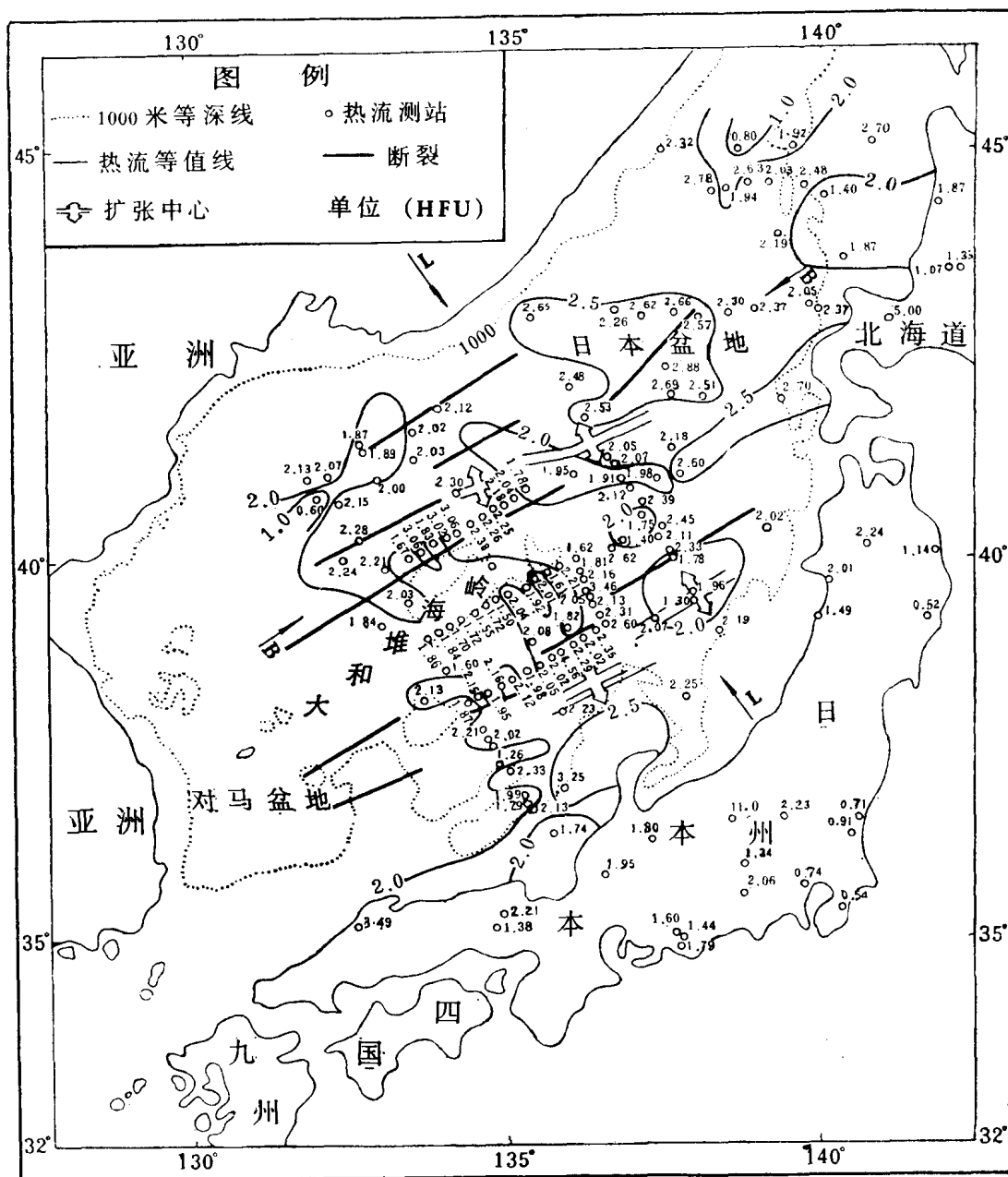
西缘断裂的存在,它基本上沿 220—300 毫伽等值线密集的走向延伸。在五个地方量得深部异常的梯度值为:中沙群岛东面 3.2 毫伽/公里,中沙群岛南面 4.4 毫伽/公里,断裂带中部 1.6 与 3.3 毫伽/公里,断裂带南部 2.1 毫伽/公里。根据布格异常计算出的莫霍面深度,在断裂带的两侧有较大的变化。断裂带东侧莫霍面深度在 10—15 公里左右,西侧莫霍面深度在 15 公里以上,从深部重力异常资料来看,这个断裂应是岩石圈断裂。

图 3 是这个海区的磁性体最小埋深图。磁性体指玄武岩层。对比图 2 与图 3,两者的形态十分相似,说明重、磁测量的结果是很吻合的。从图 3 可以看出,断裂带大致沿 4.0 公里的磁性体埋深等值线的方向延伸。断裂带东侧磁性体埋深在 4—5 公里,因水深也在 4 公里左右,故磁性体在海底下很浅,仅数百米,断裂带西侧磁性体埋深 3—4 公里,水深 2 公里左右,磁性体在海底面以下约 2 公里。磁性体埋深在断层两侧变化较大,反映出这一断裂断开了玄武岩层,应为岩石圈断裂。

以上情况可以认为:南海中央盆地热流值与构造的关系十分密切。一般压性构造,如马尼拉海沟与巴拉望海槽热流值低;张性构造,如盆地西缘断裂,属岩石圈断裂,热流值高。

(二) 南海中央盆地热流分布特征与西太平洋边缘海热流分布特征的比较

根据现有的热流资料^[9,14],选择日本海、苏禄海、苏拉威西海、菲律宾海进行比较。



(热流数据根据 Masashi Yasui, T. Kishii, T. Watanabe 和 S. Uyeda 的资料, 等深线已简化, 断裂与扩张中心的资料根据 Hayes 和 Taylor 1978 年的资料)

1. 日本海

1966年 Masashi Yasui 等人发表了日本海的热流实测资料,他们勾绘了热流等值线图^[14],我们根据原有的数据另外勾绘了一张等值线图(见图4),等值线的形状略有不同。日本海属于大洋壳性质的深海盆有日本盆地、大和堆盆地和对马(Tsushima)盆地。图4可以看出,日本盆地2.5HFU的等值线成封闭的形态,其展布方向大致为东西向,在此等值线的中央有一断裂,走向北东,围绕着断裂出现高热流值(2.57—2.88HFU),大和堆隆起北侧有一条大断裂,热流值也较高,在1.67—3.06HFU之间,随着远离断裂带(即北西方向)热流值迅速降低。

大和堆盆地的南部有一高热流区,热流值在2.23—3.25HFU之间,成北东方向展布。这个高热流区内有一扩张中心,走向也为北东向^[10]。

日本海热流值的分布表明高热流值与大断裂或扩张中心有关。上述断裂带的性质未见详细资料说明。但从大和堆隆起为大陆地壳,其北为大洋地壳,两者之间的断裂可能和南海中央盆地西缘断裂相似,也为岩石圈断裂。

2. 苏禄海与苏拉威西海

这两个海区热流值较少,根据丹尼斯·海斯的图集^[9]的热流资料,绘制了这两个海区

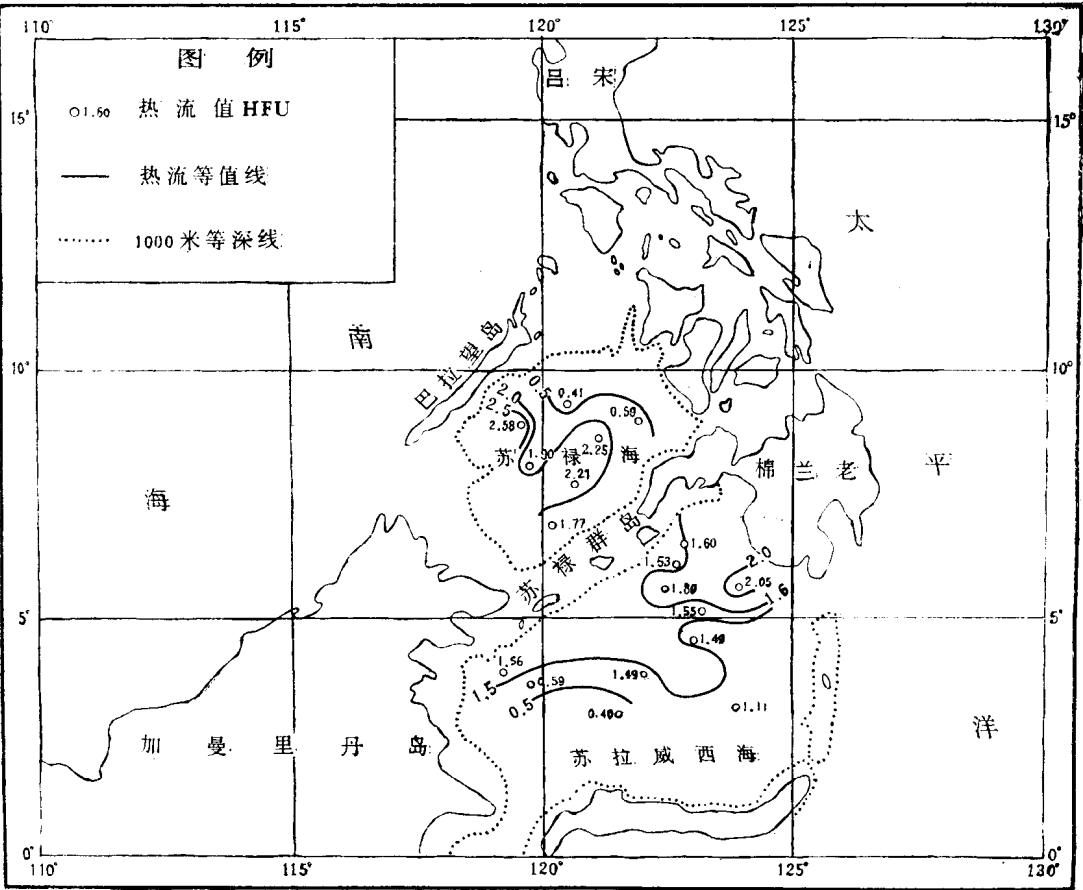


图5 苏禄海和苏拉威西海热流等值线图
(资料来源同图1)

的热流等值线图(见图 5)。图 5 显示了海盆中部热流值较高,边部热流值较低的总变化趋势。苏禄海中部热流值高可能与其下有一火山的卡加延弧有关,盆地南部为水深最大达 5000 米的苏禄盆地,为一洋壳,盆地南缘有一板块消减带^[10]。由于这个海区热流测值少,热流分布特征不详。

苏拉威西海在其南部也有一深水盆地,水深达 6000 米,名苏拉威西盆地,苏拉威西盆地没有热流测站,只在其北的海区有为数不多的测站。热流等值线的形态为一不封闭的弧形,热流分布特征不明显。

总的来说,这两个海区热流值比日本海与南海都显著地低。

3. 菲律宾海

根据丹尼斯·海斯图集中的热流资料^[9],我们勾绘了菲律宾海的热流等值线图(见图 6)。分述如下:

西菲律宾海 这个海区最重要的构造特征是中部有一个中央断裂带,在地形上为一隆起脊岭,热流值的分布特点是沿此断裂带出现较高的热流值,热流等值线的展布方向大致和断裂带的方向一致(见图 6)。沿断裂带的走向热流值在 2.02—3.99HFU 之间,随着远离断裂带热流值逐渐降低,到菲律宾海沟,热流值降至 0.79—0.82HFU。

东菲律宾海 这个海区构造上的重要特点是,这个海区有一个 Parece Vela 裂谷带,沿此裂谷带的走向(近南北向),断断续续出现高热流值,从南到北有: 4.91, 3.80, 3.02, 2.89, 3.20 HFU 等。

4. 冲绳海槽

冲绳海槽位于东海大陆架外侧,这个海槽热流值特高,最高达 10.40HFU,在此最高值周围还有 3.94, 4.22, 5.66, 8.95HFU 等高值。等值线展布方向为北东,和海槽的构造方向一致。根据海斯图集^[9],海槽中部有一活动的扩张中心,高热流值反映了这一海区近代的活动性。

二、热流值的初步分析

从现有的热流分布特点可以看出,南海中央盆地及西太平洋的一些边缘海高热流值与盆地内的大断裂或扩张中心有密切的内在关系。为了定量地分析两者之间的关系,我们初步作了一些统计分析及计算。

(一) 沿断裂带或扩张中心的垂直方向热流值分布的统计分析

1. 沿南海中央盆地西缘断裂的垂直方向热流分布的统计特性

图 7 为沿南海中央盆地西缘断裂 AA' (位置见图 1 之 AA' 方向)的垂直方向,即北西南东向的热流统计分析图,坐标轴的零点表示断裂轴上任意一点的位置,横坐标左右两边代表垂直断裂轴两个不同方向的距离(单位: 100 公里),纵坐标为热流值,单位为 $\text{HFU} = 10^{-6} \text{卡/厘米}^2 \cdot \text{秒}$ 。实线表示用高于和低于这条曲线各占 50% 的办法所作的一条经验拟合曲线^[5],近似为平均热流值曲线(以下各图均按此表示)。由于断裂西边没有热流值,而使横坐标西侧空白。从图 7 的曲线可以看出,随着远离断裂轴热流值成近似直线迅速下降。

下面,我们将从另一个方向即沿盆地西缘断裂的走向来了解热流值沿北东-南西方向

的变化。在北纬 $16^{\circ}00'$ 附近,通过 1.8HFU 的热流测站作一北西-南东向垂直于 AA' 的直线(见图 1 之 N-N' 直线)。以这条线上的任意一点为坐标原点,右侧横坐标轴表示北东方向的距离,左侧横坐标为南西方向的距离。纵坐标为热流值,如图 8 所示。

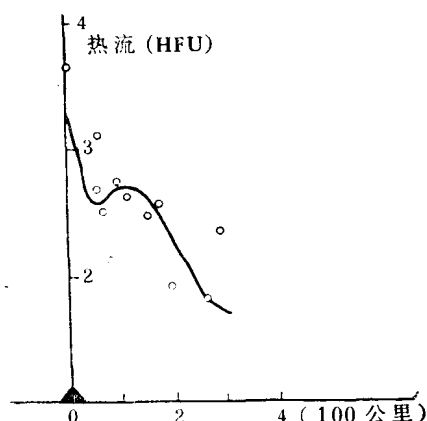


图 7 南海中央盆地沿 AA' 方向热流统计图

在图 8 的左右两边分别配上一条回归直线^[1,2],即图中的虚线,从这两条虚线可以看出:热流值从北东、南西两个方向向坐标原点的零轴(纵坐标轴)附近逐渐降低,零坐标轴处是热流值最低的地区,即西沙北海槽中等偏低热流区。

2. 南海中央盆地与邻近的几个边缘海热流分布统计特性的比较

日本海 图 9 为沿日本盆地中央-北东向断裂(BB' 方向,见图 4)的垂直方向的热流统计分析图。从图中可以看出:由于此断裂位于盆地的中部,统计曲线有左右两个分支,热流值随远离断裂轴成近似直线下降,其右侧分支曲线(即南东方向)变化稍平缓。

图 10 为沿垂直于大和堆西北侧断裂的热流统计分析图。坐标原点为断裂轴上任意一点,左边的横坐标代表北西方向的距离。没有作右边的横坐标为的是和南海中央盆地西缘断裂热流值的分布进行对比。比较图 7 与图 10 可以看出,两者的统计曲线是相似的,均随远离断裂轴成近似直线下降,只是图 10 的曲线稍平缓。

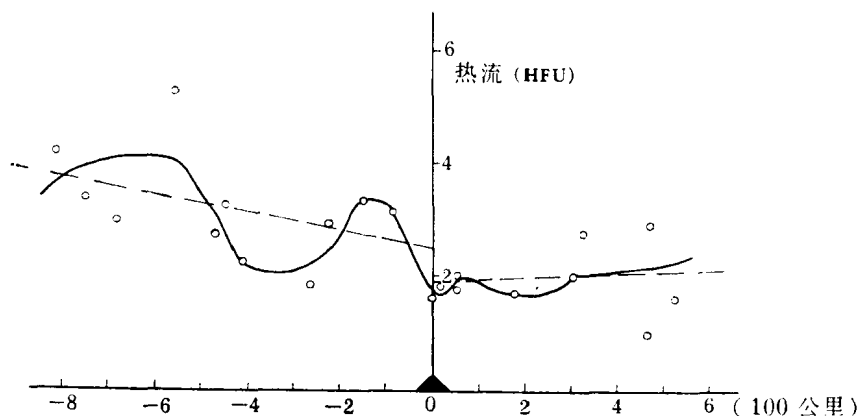


图 8 南海中央盆地垂直于 AA' 方向的热流统计图

图 11 为垂直图 9 方向的统计分析图。坐标零点取北纬 41° 附近,通过热流值为 1.95 HFU 测站的一条北西南东向直线(见图 4 之 L-L' 直线)上的任一点,横坐标右侧代表此线以东的距离,左侧为此线以西的距离,纵坐标为热流值,统计曲线如实线所示。在图的右侧配了一条回归直线(虚线)。左侧的虚线是去掉一个 0.6HFU 测站后所作的一条回归直线。从图 11 可以看到,沿北东南西两个方向向坐标零点处逐渐降低,其性质和南海中央盆地相似。

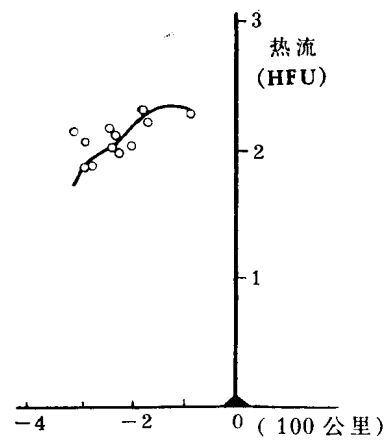
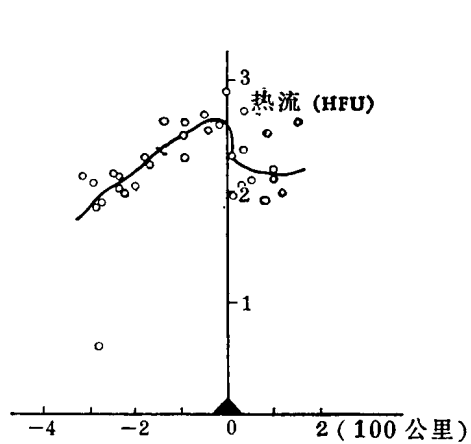


图 9 日本盆地沿 BB' 方向热流统计图 图 10 日本海沿垂直大和堆西北侧断裂方向热流统计图

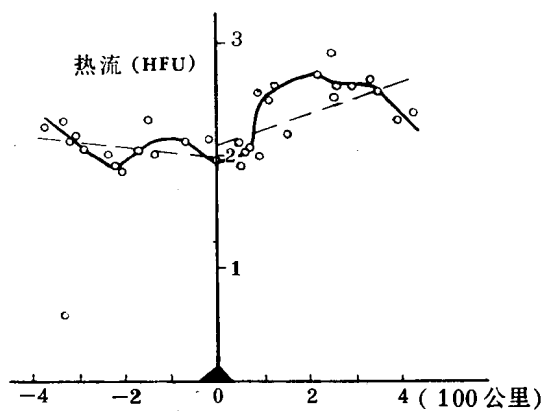


图 11 日本海垂直于 BB' 方向的热流统计图

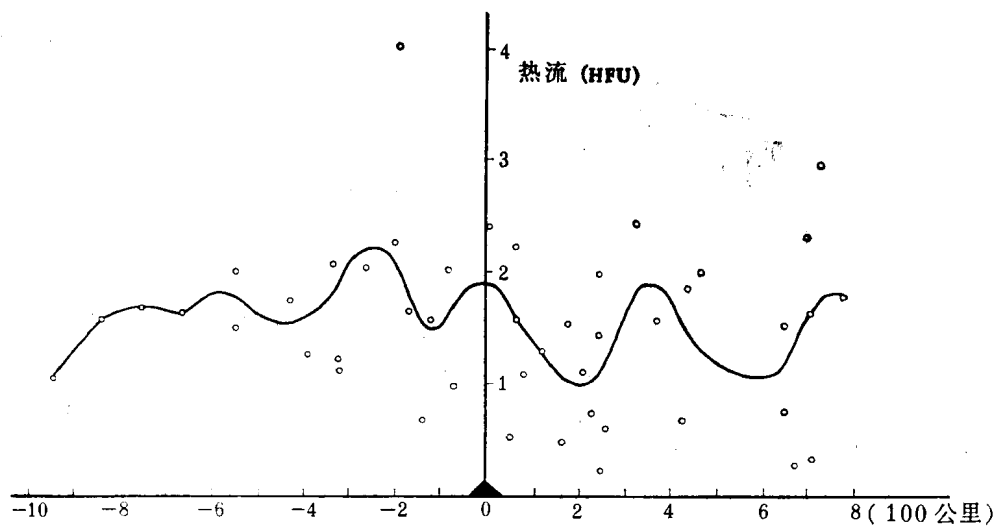


图 12 西菲律宾海沿 CC' 方向热流统计图

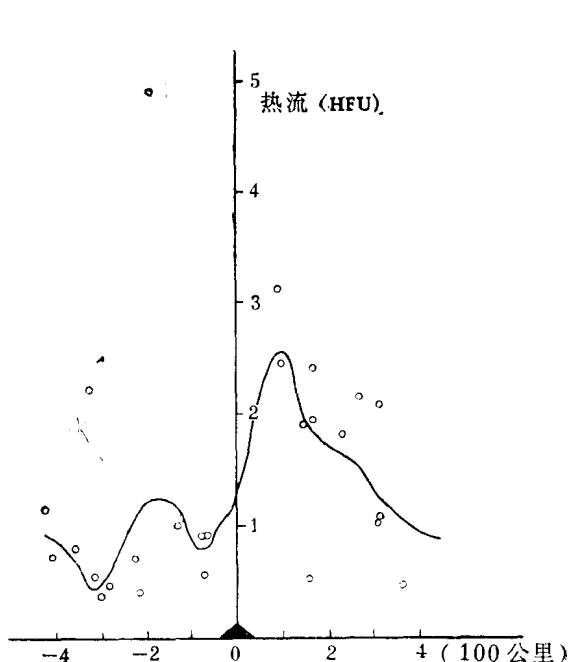


图 13 东菲律宾海沿垂直 Parece Vela 裂谷 DD' 方向的热流统计图

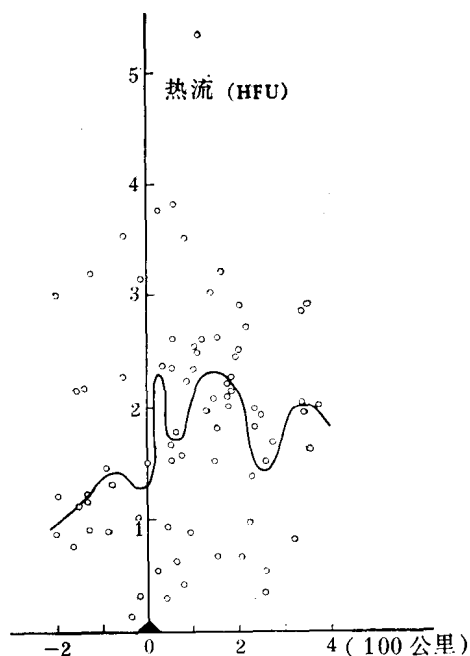


图 14 四国海盆沿垂直 EE' 方向的热流统计图

西菲律宾海 图 12 为西菲律宾海沿中央断裂 CC' (见图 6) 的垂直方向的热流统计分析图。坐标零点为中央断裂轴任一点的位置。横坐标右侧为东北方向的距离, 左侧为西南方向的距离。图 12 的平均热流曲线表明: 和南海中央盆地与日本海的情况不同, 西菲律宾海热流值沿中央断裂两侧, 随远离断裂轴的变化平缓。在断裂左右两侧约 400 公里的范围内, 出现三个热流的峰值, 最高值位于断裂西南侧约 240 公里处。

东菲律宾海 图 13 为沿垂直 Parece Vela 裂谷走向 (DD' 方向) 的热流统计分析图, 图 14 为位于四国海盆沿垂直 EE' 方向的热流统计分析图 (DD' 与 EE' 的位置见图 6)。从图 13, 14 两图可以看到: 热流值随远离 Parece Vela 裂谷成近似直线下降, 不同的是热流最高值不正位于裂谷轴部而是偏东约 100 公里。

(二) 南海中央盆地及其邻近海盆热传导模式与大洋中央海岭热传导模式的比较及由此导出的板块年龄的推断

1. 大洋中央海岭热传导的模式

根据 W. J. 摩根^[8] 1975 年的方法, 假设板块厚度为 H 公里, 在大洋中央海岭中部的峡谷处, 由于岩浆连续不断的上升, 推动左右边板块以速度 V_1 和 V_2 分别向两边运动, 也即是海岭峰部的物质接近熔融, 板块底部也为熔融状态, 板块表面为 0°C 。现在建立这种边界条件的热传导方程, 设 X 轴为水平距离, Z 轴为深度 (见图 15), 设 T 为板块内的温度, t 为年龄, 它满足方程 (1)^[3,8], 我们只研究右边板块的情况。

$$\begin{cases} \rho C \frac{\partial T}{\partial t} + C \rho V \frac{\partial T}{\partial x} = K \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \\ T|_{x=0} = T_0, T|_{z=0} = 0, T|_{z=H} = T_0 \end{cases} \quad (1)$$

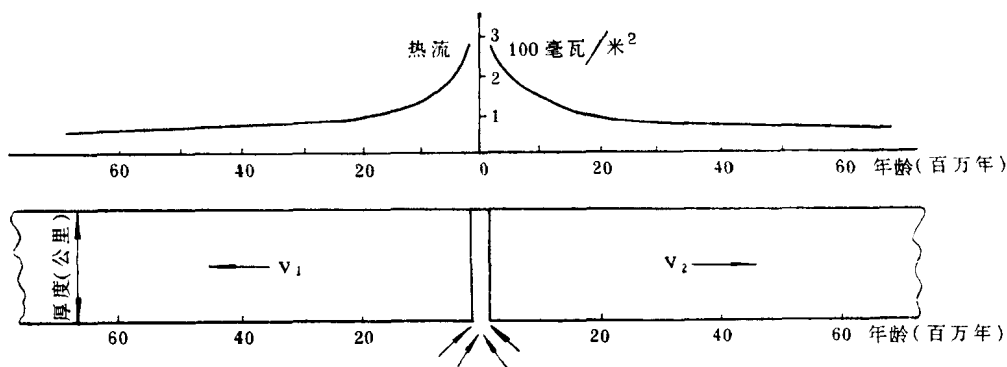


图 15 在典型的大洋中央海岭地区,用海底扩张原理预测的一个热流型式

(根据 W. J. 摩根)

(1) 式中, ρ , C 和 K 分别为密度、恒压下的比热和导热系数, T_0 是一固定温度的热源, H 是板块的厚度,以上各量均认为是常量。为了问题的简化,假定是一个稳定过程,即与 t 无关,则(1)式变为:

$$\begin{cases} C\rho V \frac{\partial T}{\partial x} = K \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \\ T|_{x=0} = T_0, T|_{z=0} = 0, T|_{z=H} = T_0 \end{cases} \quad (2)$$

利用分离变量的办法,可得(2)的解为 (Mckenzie 1967 年)^[12],

$$T = T(x, z) = \frac{T_0 z}{H} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \exp \left([R - \sqrt{R^2 + n^2 \pi^2}] \frac{X}{H} \right) \times \sin \left(\frac{n\pi z}{H} \right) \quad (3)$$

式中 $R = \rho CVH/2K$ 为瑞利数 (Rayleigh number), 对于大的 n 及 X , 在一定范围, 可以认为:

$\exp \left([R - \sqrt{R^2 + n^2 \pi^2}] \frac{x}{H} \right)$ 很小, 对于大的瑞利数, 知道 $\exp \left([R - \sqrt{R^2 + n^2 \pi^2}] \frac{X}{H} \right)$ 可以用 $\exp \left(-\frac{n^2 \pi^2 x}{2RH} \right) = \exp(-n^2 \pi^2 KX/\rho CH^2 V)$ 来精确地逼近。如果 $V > 3$ 毫米/年, 即可达到大瑞利数, 所以:

$$T = T(x, z) = \frac{T_0 z}{H} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \exp(-n^2 \pi^2 KX/\rho CH^2 V) \times \sin \left(\frac{n\pi z}{H} \right) \quad (4)$$

现在来确定描述大洋中央海岭热剖面的傅里叶系数集, 易知:

$$a_n = \frac{2}{H} \int_0^H [T(0, z) - T(\infty, z)] \sin \left(\frac{n\pi z}{H} \right) dz \quad (5)$$

最简单的情况是假定“裂缝”的温度等于沿板块底部的恒温 T_0 , 即:

$$T(0, z) = T_0, \quad T(\infty, z) = \frac{T_0 z}{H}$$

把它们代入(5)得:

$$a_n = 2T_0/n\pi$$

令 $\tau = \rho CH^2/\pi^2 K$, $\tau_n = \tau/n^2$ 及 $x = Vt$ 得(2)的解为:

$$T(t, z) = \frac{T_0 z}{H} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2T_0}{n\pi} e^{-t/\tau_n} \sin \left(\frac{n\pi z}{H} \right) \quad (6)$$

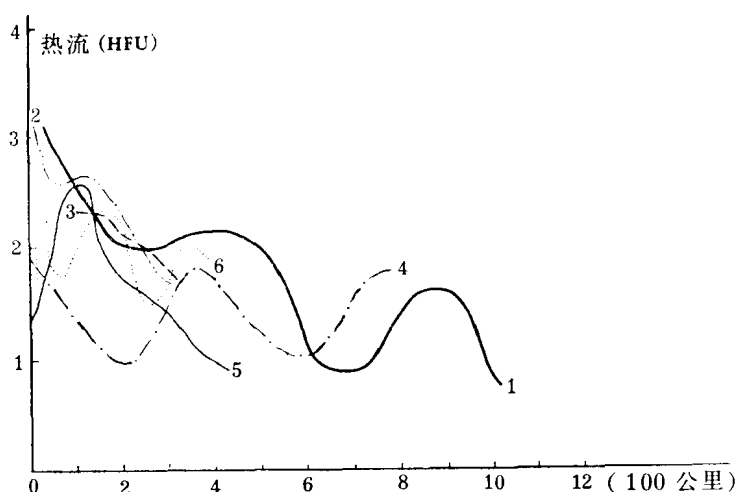


图 16 西太平洋几个边缘海热流统计曲线与东太平洋海岭热流统计曲线的比较
曲线 1 东太平洋海岭, 2, 3, 4, 5, 6 分别是南海中央盆地、日本海、西菲律宾海、东菲律宾
Parece Vela 裂谷和四国海盆的统计曲线

为了方便起见, 仍用 $T(t, z)$ 代替 $T(Vt, z)$ 。为使边界状况更符合大洋中央海岭的状况, 适当改变边界条件, 则方程(1)变为:

$$\begin{cases} \rho C \frac{\partial T}{\partial t} + C \rho V \frac{\partial T}{\partial x} = K \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \\ T|_{x=0} = T_0 + \gamma z, T|_{z=0} = 0, T|_{z=H} = T_0 + \gamma H \end{cases} \quad (7)$$

其中 γ 为边界状况的热梯度常数。利用叠加原理, 可得其解为:

$$T(t, z) = \frac{T_0 z}{H} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2T_0}{n\pi} e^{-\nu r_n} \sin\left(\frac{n\pi z}{H}\right) + \gamma z \quad (8)$$

所以, 对于大洋板块表面年龄 t 处的热流值为:

$$Q(t) = K \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=0} = K \frac{T}{H} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2KT_0}{H} e^{-\nu r_n} + K\gamma \quad (9)$$

$Q(t)$ 的图象曲线如图 15 上部曲线所示, 也即是热流随远离海岭轴的距离(或板块的年龄)按指数衰减, 这个解近似符合大洋中央海岭的热流分布规律。

2. 边缘海热传导模式

为了比较西太平洋几个主要边缘海的热流分布与大洋中央海岭热流分布的关系, 绘制了图 16。图 16 中的曲线 1 是东太平洋海岭热流值与距离海岭的关系曲线^[8], 2, 3, 4, 5, 6 分别是南海中央盆地、日本海、西菲律宾海、东菲律宾 Parece Vela 裂谷、四国海盆的热流值与距断裂或裂谷距离的关系曲线。从图上可以看到各条曲线很相似。其中南海中央盆地、日本海的曲线与东太平洋海岭 0—250 公里段的曲线近似重合, 东菲律宾海的 Parece Vela 裂谷的曲线和东太平洋海岭 0—200 公里段平行。西菲律宾海的曲线比较特殊, 它的曲线接近于东太平洋海岭 250—750 公里段, 反映这个海域形成的年代较老(年龄将在后面计算)。

以上统计曲线的比较可以认为这些海盆热的传导可按大洋中央海岭热传导模式进行