

中国边缘海 地质地球物理特征及演化

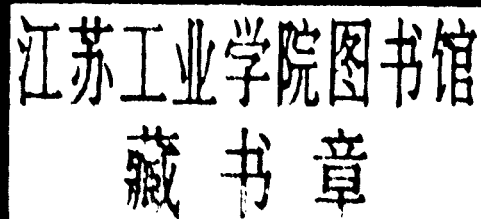
李乃胜 等 编著



海洋出版社

中国边缘海地质地球物理特征及演化

李乃胜等 编著



海洋出版社

2004年·北京

图书在版编目(CIP)数据

中国边缘海地质地球物理特征及演化/李乃胜编
著. —北京:海洋出版社,2004.1
ISBN 7-5027-6297-3

I. 中... II. 李... III. ①中国-边缘海-
海洋地质-研究②中国-边缘海-地球物理学-
研究 IV. P722

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 011945 号

责任编辑:刘箴言
责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京玥实印刷有限公司印刷 新华书店发行所经销

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月第 1 次印刷

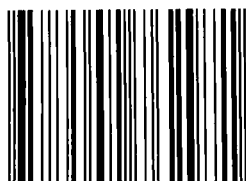
开本:880mm×1230mm 1/16 印张:29.25

字数:847 千字 印数:1~600 册

定价:68.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

ISBN 7-5027-6297-3



9 787502 762971 >

《中国边缘海地质地球物理特征及演化》

编委会

李乃胜 石学法 于洪军 赵松龄
李官保 徐兴永 刘焱光 张训华 等编著

前言

中国边缘海(东海和南海)及其邻近海域(黄海、菲律宾海)等受欧亚、太平洋、印度洋三大板块的相互作用,形成了独特的构造格局,是巨大的环太平洋构造体系中的重要组成部分。它们的形成与青藏高原的隆起是中新生代地质发展史上的重大事件。

黄海位于西北太平洋活动性大陆边缘的弧后地区,与东海、日本海一起受到菲律宾海板块的影响;东海的冲绳海槽位于东亚大陆东南边缘,为一 NNE 向朝太平洋凸出的弧形舟状盆地,详细研究其地质构造特征和形成演化历史,对于揭示洋、陆壳的过渡转化规律,查明沟-弧-盆体系的构造特征,弄清边缘海盆的发生、发展特性具有重要的科学意义。南海海盆作为西太平洋最大的边缘海,特提斯洋壳向欧亚大陆的急剧俯冲和印度次大陆与欧亚大陆的碰撞是其形成的主要地质背景。菲律宾海则是一个被沟-弧-盆系所环绕的特殊的边缘海,其形成演化与太平洋板块活动密切相关。因此,中国边缘海及其邻近海域是从全球大地构造的变化入手,研究欧亚、太平洋和印度洋-澳大利亚三大板块的相互作用与发展演化的关键地区。

同时,作为大陆与大洋的结合部和相互作用带,中国边缘海地处中、低纬度,既是东亚、东南亚大陆环境和气候的重要调控因子,是大陆和大洋之间进行热交换和水汽交换的主要场所,又为陆地环境和气候的变化提供了连续记录。它们通过狭窄的水道与太平洋相连,对全球海平面波动、构造活动和气候变化等反映极为敏感,其环境演化历史不仅具有区域性的规律和特点,还同时受全球性的演化规律所制约。近年来,人们已经认识到,与开放性大洋一样,边缘海在全球气候变化过程中也起着至关重要的作用,是全球气候旋回的关键一环。

人类社会进入 21 世纪以来,全球经济与资源、人口与环境之间的矛盾愈演愈烈。人口、资源与环境的协调、可持续发展问题成为国家必须解决的重要问题之一。我国黄海、东海和南海陆架及边缘海盆中有海底砂矿、油气、天然气水合物、热液硫化物等海底资源的巨大潜力。在这些海域中,我国与邻国在专属经济区和大陆架界线划定上还存在很大争议,需要相关科研人员对中国的边缘海进行更加深入的研究,为维护我国正当的海洋权益提供科学依据。

20 世纪 90 年代以来,我国针对边缘海的形成和演化、构造与沉积作用、资源和环境等方面进行了一些系统的调查研究。如“八五”期间开展的“85-904”攻关项目(1991-1995)和“九五”期间开展的“国家海洋勘测专项”(1996-2001),以及大洋钻探、国际合作等,使我们在边缘海研究上积累了大量的资料和样品,取得了丰硕的研究成果,编制了系统的图件,公开出版了一批质量较高的研究论文和专著。本书汇集的便是近 15 年来有关中国边缘海地质地球物理特征及其演化的研究论文,根据其内容可大致分为两部分。第一部分为构造与地球物理部分,

由 30 多篇论文组成,分别对边缘海的地壳结构、重磁特征、地质构造特征和应力场、热流机制等方面进行了评述和研究,如冲绳海槽地壳结构的研究,黄海三大盆地的构造演化,冲绳海槽的地质构造属性,单向拉张与南海海盆的形成,南海及邻区重力场特征与地壳构造区划等。第二部分为沉积与古环境部分,研究区域在黄海和东海,领域涉及到沉积学、沉积动力学、古海洋学、岩石学、地球化学等,如晚更新世末期陆架沙漠化及其衍生沉积,苏北浅滩成因,南黄海冷涡及泥团沉积,南黄海陆架大西洋期沉积薄层及其环境信息,冲绳海槽的深源矿物碳硅石,南黄海中部沉积岩心的地球化学特征,中国近海北部陆架海相地层解体问题的研究等,并重点对黄、东海陆架区在全球冰期/间冰期旋回中的沉积环境变化进行了重点阐述。

本书所编录的论文仅代表作者的个人之见,因学识和水平所限,疏漏与不足在所难免。部分文章在地质和地球物理学之间的综合交叉上也存在一定欠缺。敬请国内外同行赐教、指正。

李乃胜

2003 年 12 月

目 录

第一部分 构造与地球物理

冲绳海槽断裂构造的研究	李乃胜(3)
冲绳海槽横断裂初探	李乃胜(11)
冲绳海槽的地质构造属性	李乃胜(19)
冲绳海槽地质构造学研究的回顾与展望	李乃胜(26)
中国东部海域及周边地壳热流初探	李乃胜等(30)
冲绳海槽海底热流的研究	李乃胜(34)
国际海洋钻探计划(ODP)的回顾与展望	李乃胜等(39)
浅海地壳热流测量方法初探	李乃胜(46)
黄海三大盆地的构造演化	李乃胜(52)
大洋钻探与冲绳海槽	李乃胜(60)
冲绳海槽地壳结构的研究	李乃胜等(64)
冲绳海槽北部的构造活动性研究	李乃胜等(71)
Tectonic Evolution Of Marginal Rift System In The Sea Area Off Eastern	
China And Its Vicinity	李乃胜(81)
Primary Study On Heat Flow In The Sea Area Off Eastern China And Its Vicinity	李乃胜(93)
On Tectonic Problems Of The Okinawa Trough	李乃胜(99)
The Ocean Drilling Program (ODP)	李乃胜(110)
The Passive Continent Margin And Tectonic History Of The Marginal Seas	李乃胜(119)
The Heat Flow In The Sea Area Off China	李乃胜(144)
Back - Arc Rifting And Crustal Fluid Circulation In The Okinawa Trough	李乃胜(158)
A Summary Of Results Of Over Ten Years Of Scientific Ocean Drilling P D.	李乃胜等(178)
Geothermal Resources Of The Marginal Seas In The Northwest Pacific	李乃胜等(187)
西北太平洋边缘海热流调查研究的回顾与展望	姜丽丽等(202)
琉球海沟构造地貌	林美华等(207)
菲律宾海周边的深海沟地貌	林美华等(211)
西菲律宾海中央断裂带地貌学研究	林美华等(215)
菲律宾海的地势特征	李常珍等(219)
冲绳海槽热流机制浅析	李官保等(224)
中国海区区域地质编图中重磁图的编制方法	张训华(228)
大洋钻探与南海的形成	张训华等(232)

单向拉张与南海海盆的形成	张训华(236)
南海海盆形成演化模式初探	张训华等(239)
南海及邻区重力场特征与地壳构造区划	张训华(243)
利用重磁计算解释南海海盆中部地壳结构特征	杨金玉等(249)

第二部分 沉积与古环境演化

黄海南部黄海槽沉积的成因及其浅地层结构	赵松龄等(259)
苏北浅滩成因的最新研究	赵松龄(265)
晚更新世末期中国陆架沙漠化及其衍生沉积的研究	赵松龄(271)
晚更新世末期的陆架沙漠化环境	赵松龄等(277)
陆架沉积环境研究的若干新进展	赵松龄等(280)
黄东海陆架沉积环境研究中值得重新思考的问题	赵松龄(283)
青藏高原隆起与东海陆架抬升的对比研究	赵松龄等(286)
晚更新世末期黄、渤海陆架沙漠化环境的形成	赵松龄等(292)
晚更新世末期陆架沙漠化环境演化模式的探讨	赵松龄等(295)
晚更新世末期北方陆架区沙漠—黄土堆积群的初步研究	于洪军等(299)
晚更新世末期东海北部古冬季风盛衰变更的地质记录	赵松龄等(303)
黄海南部海底风成砾石的发现	于洪军(308)
中国陆架第四纪地质学研究的最新进展	于洪军等(310)
晚更新世末期黄、渤海陆架环境的新探讨	于洪军(315)
冰冻成卤理论的地质意义	于洪军等(320)
中国近海北部陆架海相地层解体问题的研究	于洪军等(323)
黄海、渤海陆架区可见黄河三角洲沉积的形成时代	于洪军(329)
中国东部陆架黄土成因的新探索	于洪军(335)
晚更新世末期东海陆架沙海之形成	于洪军等(339)
晚更新世末期中国北方陆架区冰缘现象的发现	于洪军(343)
青岛市浮山湾、汇泉湾、崂山湾海滩与海底沉积环境分析	于洪军等(350)
南黄海冷涡沉积和通道沉积的发现	申顺喜等(354)
冲绳海槽的深源矿物碳硅石	申顺喜等(360)
黄、东海陆架砂岩砾石的地质意义	申顺喜等(363)
南黄海的海底侵蚀作用	申顺喜等(368)
济洲岛西北部的反气旋型涡旋沉积	申顺喜等(372)
晚更新世末中国陆架沙漠化环境成因机制初探	刘敬圆等(377)
渤海海底埋藏黄土及沿岸出露黄土的成因	刘敬圆等(380)
晚更新世末期东亚季风活动与陆架区沉积环境变迁	韩德亮等(385)
南黄海中部沉积岩心的地球化学特征	蓝先洪等(390)

南黄海中部沉积岩心的稀土元素地球化学特征	蓝先洪等(396)
Probe Into The Origin, Development And Evolution Model Of Shelf Desertizational Environment	
In The Last Stage Of Late Pleistocene	于洪军等(403)
Modern Sedimentary Environments And Dynamic Depositional Systems In The	
Southern Yellow Sea	石学法等(409)
Sediment Provenance And Province Of The Southern Yellow Sea	
Evidence From Light Mineral	王昆山等(418)
Paleoceanographic Records In The Sedimentary Cores From The	
Middle Okinawa Trough	刘焱光等(428)
Microfossil Assemblage Characteristics In Core B10 And Implication	
For Paleo Environmental Evolution In The Southern Yellow Sea	程振波等(438)
沙质海岸综合体的群发性灾害及其防护技术	赵晓涛等(447)
南黄海陆架大西洋期沉积薄层及其环境信息	于洪军等(453)

第一部分

构造与地球物理

冲绳海槽断裂构造的研究

李乃胜

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

摘要:通过解释反射地震剖面, 计算处理重磁资料, 数学模拟构造应力场以及综合分析其它地质、地球物理资料可知, 冲绳海槽是一个正在活动的弧后盆地, 具有高热流、强地震、多火山、薄地壳、高重力、活断层等特征。海槽内发育了两组断裂构造, 其中 NW 向断裂是具有分割控制作用的特殊断裂, NNE 向断裂是梨形正生长断层; 两组断裂从中新世活动至现代。

关键词:冲绳海槽 断裂构造

冲绳海槽位于东亚大陆东缘, 北起日本九州, 南达我国台湾, 为一 NNE 向朝太平洋凸出的弧形舟状盆地, 平行于琉球岛弧展布约 1200km, 东西宽约 120km, 主体水深大于 1000m, (图 1)。它与琉球海沟、琉球岛弧一起构成一个沟弧盆体系, 成为西太平洋俯冲汇聚型大陆边缘的一个组成部分。

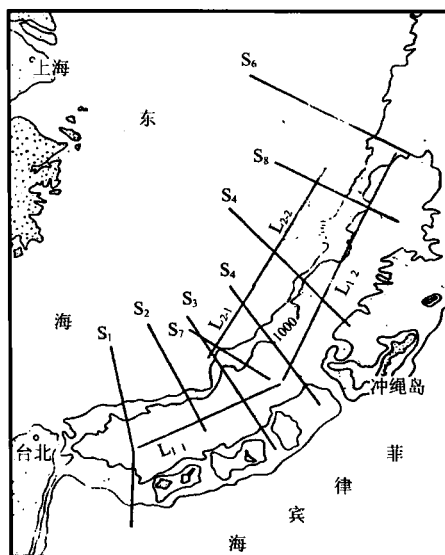


图 1 冲绳海槽及测线位置图

1 冲绳海槽新构造活动特征

大量地质、地球物理调查表明, 冲绳海槽是一个正在活动的弧后盆地, 具有一系列新构造活动特征。

1.1 浅部断层活动

穿越冲绳海槽的所有人工反射地震剖面均表明海槽地区浅部断层活动强烈, 绝大部分断层构造都切穿第四系地层, 向上延伸到海底, 造成了壮观的断层地貌。但几乎所有横断层 NW 向延伸穿过钓鱼岛 - 五岛陆架边缘脊进入东海陆架盆地后, 均变为只发生在中新统以下老地层中的隐伏断层。这说明新构造仅在海槽区表现强烈。

1.2 重力值高

重力场在海槽地区表现为较大的正值, 布格异常呈 - NNE 向平行于海槽轴向展布的高值带, 最高值达

160m Gal(图 2)。虽然冲绳海槽在地形上为一深 2000 多米的盆地,但仍具有较高的自由空间异常值,多为 20~25m Gal。这些现象暗示着海槽区的上地幔隆起。

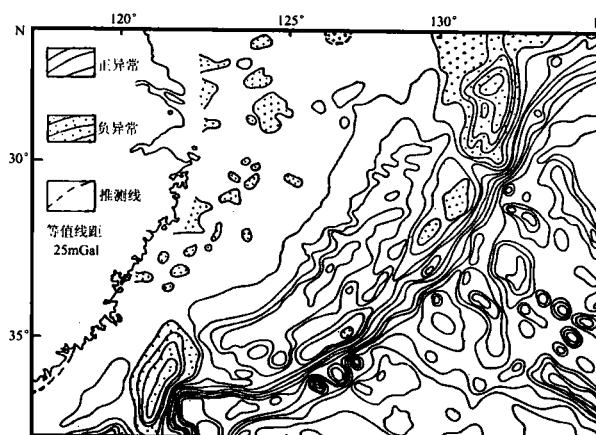


图 2 布格重力异常图

1.3 地壳减薄

根据海区特点,利用经预调整的压缩质面法,设计多套程序^[1],计算了冲绳海槽及其邻区的莫霍面深度,结果表明,海槽区地幔明显抬升,莫霍面深度变化于 19~22km 之间,而东海陆架区为 28km 左右,琉球岛弧区为 26~28km(图 3)。可见海槽地区地壳减薄。根据艾利(Airy)地壳均衡模式估算,海槽区地壳厚度较均衡态薄了约 5~6km。

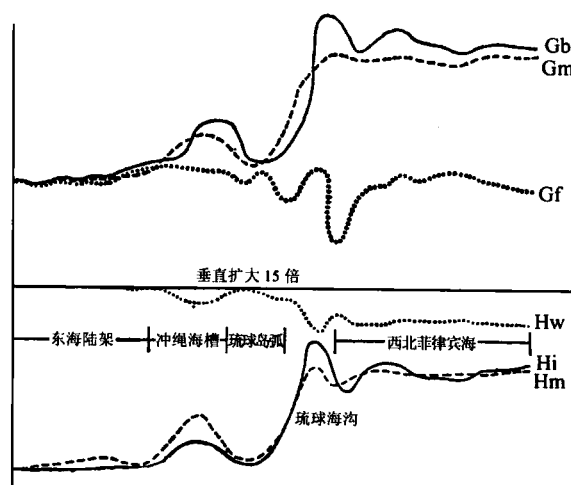


图 3 地壳厚度横剖面

Gb. 布格异常;Gf. 自由空间异常;Gm. 莫霍面引起的重力场;Hw. 水深;Hi. 均衡地壳厚度;Hm. Moho 面。

1.4 热流值大

地热流测量证明,海槽区具有相当高的热流值,据海槽内 11 个测点资料^[4],最大观测值达 10.40HFU,平均值为 4.24,远高于全球海洋 1.5HFU 的平均值。冲绳海槽如此高的热流值是正在扩张的大洋中脊所不能比拟的。西太平洋诸边缘海的热流值比冲绳海槽也大为逊色,甚至那些正在扩张中的“新生海洋”,如红海(3.66)、亚丁湾(3.95)也不高于冲绳海槽。据最新资料,冲绳海槽测得 37.7HFU 的地热流,并发现海底热液喷出。由此可见,冲绳海槽具有目前世界上测得的最高热流值。

1.5 地震活动频繁

整个琉球沟弧盆系为一强震带,具有频度高、震级大等特点。琉球海沟至琉球群岛一带多为浅源地震,

中源地震主要集中在冲绳海槽内。仅自本世纪 50 年代以来,就有十几次 6 级以上的中源地震发生。

1.6 火山作用强烈

冲绳海槽内火山活动非常强烈,且多期喷发。晚第三纪的绿色凝灰岩火山活动几乎遍及海槽的中、北部。上新世末—更新世初,在海槽中央发育了许多孤立的海底火山,地震测线揭示的海槽南部高出海底 800 多米的海底山即是一例。现代活火山主要发育在海槽北部东坡,形成了一条火山链(吐咯喇火山链),一系列大致等距分布的火山岛构成了琉球岛弧的内弧。

2 冲绳海槽断裂构造展布特征

冲绳海槽由于受三大板块的相互作用,构造活动非常强烈,发育了一系列断裂构造,构成了海槽最主要的构造形迹。按其平面展布方向主要分为两组:一是 NNE 向纵断裂(平行于海槽轴向),另一组是 NW 向横断裂(大致垂直于海槽轴向)。两组断裂构造组成了海槽的断裂体系。

在综合分析地质、地球物理资料的基础上,以下主要从三个方面探讨冲绳海槽断裂构造的存在。

2.1 地形地貌特征

冲绳海槽作为一个正在活动的弧后盆地,发育了非常壮观的断层地貌,各地貌单元分界明显,主要类型有:(1)断裂谷与断裂沟,高差大于 200m 者称谷,较浅者称沟,在海槽两坡较发育,沟谷两坡多不对称;(2)地堑槽和张裂沟,是指在海槽中央发育的深约 150~200m 的“U”型深槽和裂沟,其间有火成岩活动;(3)断块山,是由断层分割的小型海底山体;(4)断陷洼地,指的是一些海山间的小型深水洼地,多呈小的箕状断陷盆地;(5)错动台阶,为一系列叠瓦状断层作用所致,地形上依次递落;(6)峡谷,由横切槽坡的断层发展而成的水流冲刷谷;(7)串珠状小山,沿大断裂带或断层交汇处发育的一系列火山。

2.2 重力场特征

本文对重力资料进行了多种方法的计算处理,用以查明海底断裂构造的存在。主要做法是平滑滤波,解析延拓,水平求导,相关分析及反演莫霍面等^[1]。对照反射地震结果可知,冲绳海槽地区的重力场及其剩余场、下延场、一阶导函数均不同程度地反映了断裂构造的存在。因此,对图 1 中所有测线做综合剖面(图 4),分析确定出较大断裂的存在。

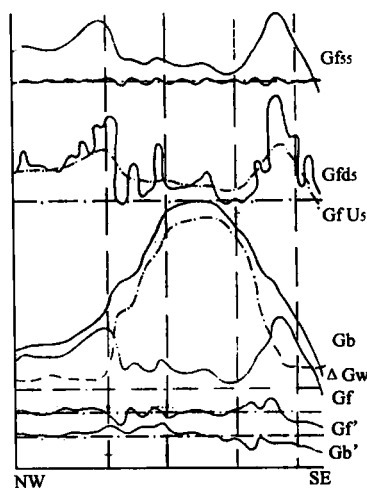


图 4 S₄ 线重力综合剖面

Gf55.5km 采样平滑滤波;Gfd5.下延 5km;Gfu5.上延 5km;Gb.布格异常;
ΔGw.水层改正;Gf.自由空间异常;Gf'是 Gf 的一阶导数;Gb'是 Gb 的一阶导数。

2.3 反射地震特征

本文对图 1 中的所有人工反射地震剖面进行的追踪对比,得出了解译时间剖面(图 5)。其中,确定断层

构造主要是根据强反射界面的明显错断、凹塌、畸变和挠曲、反射波组的突然消失或产生、几个强相位的错动和中断、同相轴数目的突然增减以及断面波、绕射波等特殊波的出现。根据人工地震结果,确定了断裂构造的展布。

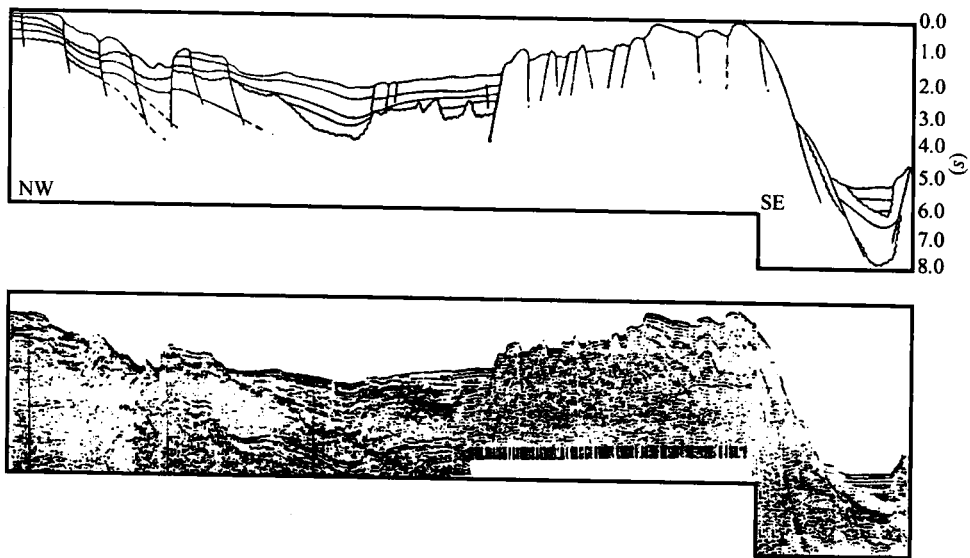


图5 S_1 线地震时间剖面

综合地形地貌、重力分析、人工地震的结果,得出了冲绳海槽断裂构造图(图6)。

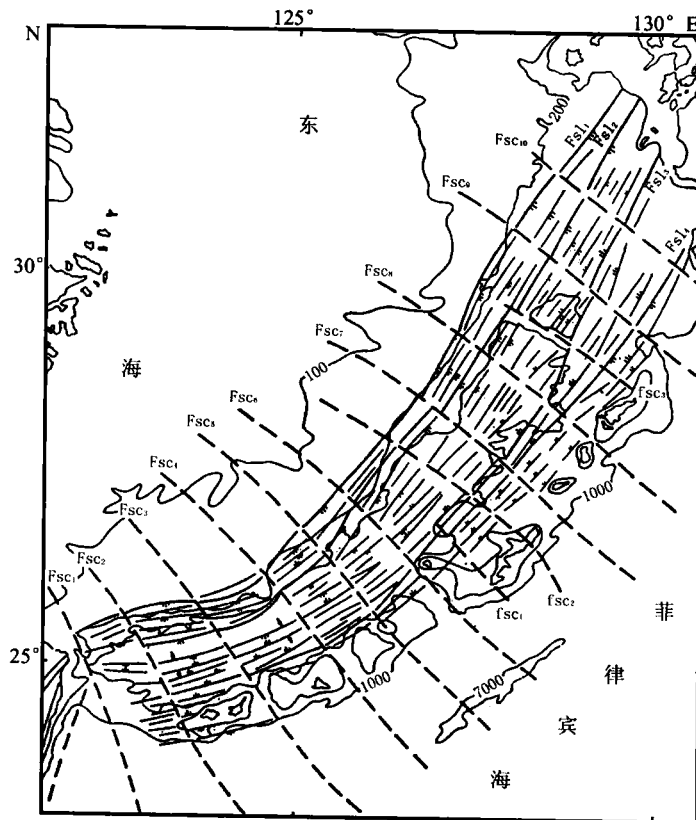


图6 冲绳海槽断裂构造图

3 冲绳海槽断裂构造特征

由图 6 可知, NW 向横断裂, 横切琉球沟弧盆系, NW 向延伸进入东海陆架; NNE 向纵断裂平行海槽轴向展布, 断断续续遍布整个冲绳海槽。

3.1 NW 向横断裂

根据地震资料分析, 每条横断裂几乎都由数条断层组成, 断层面近乎直立, 断裂带内断层地貌发育。

综合前人研究成果, 关于冲绳海槽 NW 向横断裂的认识可分为两大类: 一是以左旋为主的扭性平移断层, 二是转换断层。本文通过大量资料分析认为, 由于从中新世到现代的断续多期活动, 使断裂两侧断块之间造成了很大的差异, 因此很难简单地确定其力学性质, 但其原始萌芽可能具有剪切性质。此类断裂具有三个特点: (1) 平面上大致等间距分布; (2) 具有多期活动性; (3) 分割控制了两侧断块, 使各个断块在菲律宾板块俯冲这一主导作用下相对独立发展。

横断裂的等距性分布在冲绳海槽地区表现比较明显, 各断裂间距大致为 100 ~ 120 km。这种等距性在整个东海陆架区以及中国大陆东部都表现比较明显^[2], 且不同级别的断裂具有不同级别的间距。其原因可能是横断裂的原始成因系剪切作用所致。

关于此类断裂的多期活动, 在平行海槽轴向的反射地震剖面上表现比较清楚。可以看出冲绳海槽地区横断裂活动有三期: 第 1 期在中新世末, 表现在断裂带内个别断层, 仅切过 T_2^0 不整合面(中新统顶面)之下的老地层; 第 2 期在上新世末, 个别断层向上未切穿 T_1^0 不整合面(上新统顶面, 仅在冲绳海槽、琉球海沟地区发育明显); 第 3 期为现代, 断裂带内的大部分断层都向上至海底, 向下切穿 T_1^0, T_2^0 界面。

由于此类断裂的分割控制作用, 使冲绳海槽及其邻区在地形地貌、岩浆活动、地层发育、矿物分布、重磁特征、热流变化、震源深度、地质构造、莫霍面深度等许多方面均表现出各段差异。简单地说, 琉球海沟被分成断断续续的数段, 各段间海沟轴向、剖面形态及海沟深度均有较大差异。琉球岛弧上的岛屿分布、地层发育及火山活动, 也表现出明显不同。钓鱼岛 - 五岛陆架边缘脊的隆起高度、火成岩分布、重磁场特征也存在较大的差异。冲绳海槽地区更加明显, 图 7 画出了相邻五条横穿冲绳海槽的地震剖面, 可看出, 各剖面的地层厚度、褶皱起伏以及纵断层发育、海槽形态等存在着比较明显的不同; 海槽两坡(标注 A, B)发育也各不相同。这些现象很难简单地用平移断层或转换断层解释。

下面仅举宫古断裂一例, 即可看出其两侧比较宏观的差异。

宫古断裂(FSC₄)位于海槽南部、宫古岛至赤尾屿一线。

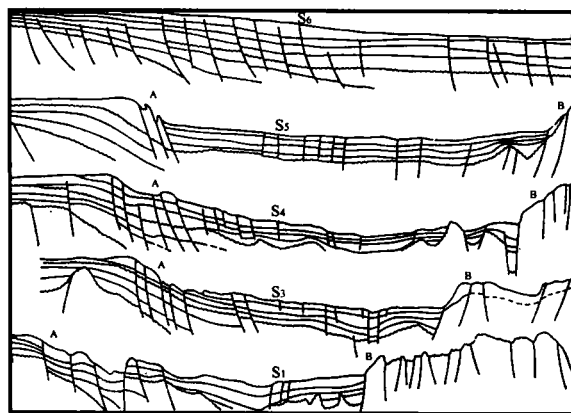


图 7 横剖面间差异

(1) 琉球海沟区 该断裂南堵了 7000 m 等深线, 使其至此圈闭, 造成了北深南浅的格局。北侧沟底呈“V”型, 起伏较大, 海沟内坡崎岖不平; 南侧沟底呈“U”型, 地形平坦, 浊积层发育, 海沟内坡光滑。

(2) 弧前斜坡区 其北侧仅有小型坡前隆起, 隆起内侧只发育了晚第三系岛尻群, 而南侧坡前隆起巨大, 隆起内侧不但晚第三系岛尻群发育, 而且还发育了较大的第四纪岛尻盆地。因此在坡前隆起区呈北低

南高格局,而隆起内侧则表现为北浅南深。

(3)岛弧区 它形成了南高北低的地貌景观,据一些学者研究,岛弧区该断裂南北两侧是两个不同的构造单元,表现在:a.群岛基底,北侧为晚古生代板岩、石灰岩、辉绿质岩石;而南侧为八重山变质岩,由千枚岩、黑、绿色片岩组成,二者岩性不同。b.基底构造,北侧基底岩系构造走向基本平行岛弧;南侧八重山变质岩主褶皱走向为 NW-SE,与岛弧走向明显相交。c.构造活动,北侧始新统四万十群变形强烈,等斜褶皱和逆冲断层发育;而南侧始新统除有较小断层发育外,无其它变形变质现象。d.火山活动,北侧大片分布晚第三纪绿色凝灰岩,而南侧无此现象。e.地层发育,南侧发育了中新统八重山群,由砂泥岩组成,以含煤、交错层和少量滨海化石为特点;北侧无此地层^[6]。

(4)海槽区 造成了一个高差近 200m 的北高南低台阶,2200m 等深线至此圈闭。南侧发育了较大规模的槽中地堑-槽中槽,有拉斑玄武岩出现。北侧槽中槽尖灭。

(5)海槽西坡 该断裂南侧发育了赤尾屿等断块山,而北侧为一个深约 300m 的断陷洼地。

(6)陆架边缘区 南侧倾状变窄,北侧相对隆起变宽。重力场也表现为南低北高。

(7)在东海陆架盆地 该断裂将北东走向的凸起与凹陷分为南北两部分,这两部分呈现出许多方面的差异。岩浆岩体在南侧多呈较大的岩基状产出,北侧发育零星。

(8)地震活动 南侧现代地震活动多,震源深度大;北侧则相对减弱,而且震源深度变小。

3.2 NNE 向纵断裂

整个冲绳海槽地区,从两坡到槽底发育了数十条 NNE 向纵断层,大致平行海槽轴向展布。与其说是纵断层纵贯全区,还不如说是被一系列横断裂所分割的各个断块内均发育了许多纵断层。总体上南部各个断块内纵断层规模较大,条数较少;北部各断块条数繁多,断距不大,分布杂乱。

按其切割深度,冲绳海槽纵断层可分为两类:一类是切割深度大,从海底向下切过 T_1^0 、 T_2^0 界面,继续向下延伸,此类断层多发育在海槽两坡;另一类是切割深度小,仅发生在更新统一全新统地层内,此类断层一般规模较小,多发育在槽底中央部位。

概括起来,冲绳海槽地区的纵断层主要组成五条 NNE 向弧形断裂带,它们分别构成海槽中央地堑、槽底与两坡、西坡与东海陆架、东坡与琉球岛弧的分界线。

冲绳海槽的纵断层倾角较大,一般倾向海槽中央。许多断层比较明显地表现出断层面上陡下缓,剖面上断层面呈弧形弯曲,断块滑动旋转,顺断面向槽中滑塌,且断层两侧厚度不等,下降盘一侧地层厚度不同程度地增大。因此,这类纵断层具有张裂性质,属于一类梨形正生长断层。它们是伴随着海槽的拉张逐渐发展而成的。

4 冲绳海槽断裂构造的形成和发展

第三纪以来,太平洋板块运动方向由 NNW 变为 NWW,使菲律宾海板块中新世以来,由近 SN 向扩张转为近 EW 向扩张^[5],吕宋弧北移与琉球弧相撞,琉球群岛及陆架边缘脊一带出现了强烈的岩浆活动,所有这些作用对琉球弧后地区产生了复杂的影响。中新世晚期,四国海盆和帕里西维拉海盆发展成现今状态并停止了扩张,从而使整个西北菲律宾海盆向琉球弧下俯冲^[5]。中新世末,琉球岛弧地区火山活动减弱,断裂构造开始活动,冲绳海槽开始产生。这种火山活动和弧后扩张交替进行的变化方式同木座荣一^[3]等对菲律宾海周围许多岛弧区的火山活动和扩张作用交替进行的研究结果较为一致。

根据菲律宾板块俯冲于琉球弧下而导致冲绳海槽产生这一观点,本文用数学方法模拟了区域构造应力场(计算采用有限元弹塑性平面问题增量法 1)进行,结果表明,中新世末,剪应力数值较大(图 8),而且在岛弧和边缘脊地区相对集中,纵向上呈大小相间排列,高值中心略呈等距分布,在这种作用下,冲绳海槽具有剪切性质雏形的 NW 向横断裂开始活动。主应力分布表明(图 9),当时琉球群岛和钓鱼岛一带处于向两侧拉张的应力场中,因此,具有拉张性质的纵断层开始出现。

上新世末,随着海槽的扩张,剪应力数值减小(图 10),但高值中心仍有等距排列趋势。主应力图上(图