

# 冲绳海槽地质构造学研究的回顾与展望\*

李乃胜

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

冲绳海槽位于东亚大陆东南边缘, 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。由于受欧亚、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。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有重要的科学意义。所以, 中外学者对这一地区表现出浓厚的研究兴趣, 进行了大量的地质、地球物理调查, 先后发表了上百篇有关该区地球物理场和地质构造的研究论文。

作者在多次赴冲绳海槽调查的基础上, 综合国内外调查研究成果, 对冲绳海槽地质构造的研究历史、现状和需进一步讨论的问题作一综合分析, 以期对研究冲绳海槽的学者有所裨

益。

## I. 海洋地质调查史

### 1.1 国外的海洋地质调查

国外对冲绳海槽的调查开始较早, 主要是日本、美国、苏联、法国、西德的一些调查船只在该海区开展工作。按其调查程度和设备情况可大致分为三个阶段。

#### 1.1.1. 初始调查阶段

1956年以前, 主要是利用比较原始的方法, 对冲绳海槽地区进行零星地质调查, 其中多为水深测量和底质取样。如: 1920~1924年, 日本的渔船对冲绳海槽及中国东海陆架地区进

\* 国家自然科学基金资助项目; 中国科学院海洋研究所调查研究报告第1890号。

行了多次测深和底质取样调查;1955年,苏联海洋研究所的“勇士”号调查船在该区及东海北部进行过回声测深和沉积取样。1949~1950年美国潜艇“SS-336”和“SS-401”号用维宁、迈奈兹摆仪在冲绳海槽和黄东海地区进行过35个站位的重力测量。

#### 1.1.2. 大规模调查阶段

1957~1980年间,对冲绳海槽地区的地质、地球物理调查多具有普查性质,以期了解冲绳海槽的地球物理和地质构造特征。如:1958~1960年,日本水上保安厅“宗谷”号调查船用核旋磁力仪对该区进行了磁场总强度测量;1958~1959年,苏联科学院“曙光”号调查船进行过磁场测量;1962年,苏联渔业部“珍珠”号调查船用回声测深仪进行了水深测量和地形地貌调查;1964~1965年,日本气象厅“清风丸”号调查船在该区进行过地形、地磁和地热调查;1965年6月,美日合作用“维马”号和“第23兴南丸”号船进行了折射地震调查;1967年,日本东京水产大学的“海鹰丸”进行过底质取样、重磁测量和电火花地震调查;1968年6月,美日合作用调查船“康拉德”号和“文丸”号进行了折射地震调查;1968年10~11月,美国海军海洋局的“享特”号调查船在本区进行了反射地震调查及地磁、水深测量;1969年苏联地质部“勤奋”号调查船进行了重力测量;1969年6月和11月,日本总理府和东海大学用“东海大学丸二世”号调查船对钓鱼岛周围海区进行了两个航次的电火花地震、地磁和水深测量;1971年9月,美国拉蒙特-多尔蒂地质观察所用“维马”号调查船进行了折射地震调查;1971年,苏联“飞马”号调查船进行了重力测量;1972年,日本东京大学“白凤丸”号调查船进行了海洋重力调查;1975年,日本地质调查所的“白岭丸”号调查船进行了两次底质取样及反射地震、重磁测量;1976年,美国“托·华盛顿”号和台湾大学“九连”号调查船联合进行地震折射、反射调查及磁力测量;1976年,美国拉蒙特-多尔蒂地质观察所的“维玛”号和“康拉德”号在冲绳海槽进行了多条测线的反射地震调查;1977年,

日本地质调查研究所的“白岭丸”号船再次对该区进行地质、地球物理调查;等等。这些大规模的海洋调查,使人们了解了冲绳海槽的区域地质、地球物理场特征,查明了该区区域地质构造概况。

#### 1.1.3. 专题研究阶段

进入80年代,日本、法国、西德等国家对冲绳海槽地区进行过数次专题调查。其特点是研究计划专题性强,目的明确,多选择冲绳海槽的某个部位进行专门地球物理调查。1984年,日本岩石圈课题组在冲绳海槽中部进行DELTA-84和KT84-14专题调查。此项调查动用了“若潮丸”和“淡清丸”两艘调查船,进行了单道和多道反射地震调查,海底地震仪折射地震调查和一个月的连续天然地震观测;用核旋磁力仪和三分量磁力仪进行了地磁场测量,海底热流测量。1984~1987年,日本水上保安厅用“拓洋”号调查船多次执行水路部调查计划、用多波束测深仪和海底磁力仪进行了水深测量和电磁测深。1984年9~10月,西德“太阳号”调查船在海槽北部和中部执行德日联合调查计划,第一航次用海底地震仪进行了地震测量;第二航次进行了海底热流及重磁测量。1984年以来,法国海洋开发中心的“J. 夏尔科”号调查船进行了POP-1, POP-2, ESTASE, SINKO等多项计划的地球物理调查。日本“深海2000”号深潜器于1984年9月和1986年7月曾两次下潜冲绳海槽中部海底,进行热液活动观测和岩石取样。此外,1988年7月,日本岩石圈课题组在冲绳海槽南部进行了DELTA-88计划的地球物理调查。

#### 1.2. 国内的海洋地质调查

我国对冲绳海槽的调查开始较晚,主要调查航次有:1971年,台湾大学“九连”号调查船对该区进行了地磁测量。1974~1975年,中国科学院海洋研究所用“金星”号调查船对冲绳海槽部分地区进行过地磁调查。1977年,国家海洋局第一、二海洋研究所用“向阳红05”、“实践号”和“东方”号等调查船对海槽西部作过重磁调查。1979年12月,国家海洋局第二海洋研究所

用“向阳红 10”号调查船进行了从大陈岛、横穿冲绳海槽到北大东岛的综合剖面测量。1980~1984 年间,地矿部海洋地质调查局用“海洋一号”等调查船先后在冲绳海槽地区进行过重磁、水深测量和反射地震调查。1980 年 8~9 月和 1981 年 8~9 月,地矿部海洋地质综合队用“东方”号调查船两次组队对冲绳海槽进行地质调查。1980~1982 年,中国科学院海洋研究所用“金星 II 号”和“科学一号”调查船先后 5 次赴冲绳海槽进行地质调查。1982~1984 年,中国科学院海洋研究所用“科学一号”调查船在冲绳海槽和部分菲律宾海区进行了多道反射地震和遥测折射浮标测量。1987 年 6~7 月,1988 年 5 月,1989 年 5 月,中国科学院海洋研究所岩石圈课题组用“科学一号”调查船分 3 个航次在冲绳海槽北部、中部进行了水深、地磁、多道反射地震、遥测折射浮标、海底岩石拖网等多项调查。

## II. 研究现状

随着海洋调查的进行和资料的积累,中外学者越来越清楚地认识了冲绳海槽的地质构造特征和地球物理场特征。迄今已获得了大量冲绳海槽构造活动的证据,得出许多有益的结论。

### II.1. 高热流

冲绳海槽热流值极高,近百个热流测点平均值大于  $200 \text{ mW/m}^2$ <sup>[9]</sup>,最高可达  $1600 \text{ mW/m}^2$ <sup>[4]</sup>。如此高的热流值远大于大洋中脊及西太平洋诸边缘海,甚至比红海、亚丁湾等“新生海洋”也高得多。并有大规模海底热液喷发,发育了较大的海底热液丘<sup>[7]</sup>。

### II.2. 强地震

冲绳海槽为一强震带。仅自 1900 年以来,  $MS \geq 4 \frac{3}{4}$  级的地震就发生了 100 多次,多为中、浅源地震,微地震更加频繁。

### II.3. 高重力

该区较两侧重力值明显增高,布格异常为一平行海槽轴向展布的高值带<sup>[10]</sup>,最高达 160

m Gal,与东海陆架低缓的重力场特征明显不同<sup>[4]</sup>。

### II.4. 多火山

冲绳海槽区火山活动强烈,主要发育了两条现代火山链,其一在海槽东坡(吐喀喇火山链),形成了一系列活火山岛。另一条沿海槽中心张裂轴发育,有大量中、基性火山熔岩喷出,其中大量双峰态高钼系列拉斑玄武岩揭示了张裂环境的火山活动,其 K-Ar 年龄仅为  $0.42 \pm 0.19 \text{ Ma}$ <sup>[6]</sup>,证明为现代火山活动。

### II.5. 活动断层

该区断裂构造特别发育。现已查明主要有 NNE 与 NW 向两组<sup>[1,2]</sup>。大量人工反射地震剖面揭示出,绝大多数断层向上延伸切穿海底,向下切穿 T<sub>1</sub> (上新统顶面)和 T<sub>2</sub> (中新统顶面)反射界面。因此,属现代活动断层。

### II.6. 构造地貌

地形测量和人工地震测量查明,由于断裂作用形成了壮观的断裂地貌。海槽两坡陡峭起伏,槽底海山林立。特别是在海槽轴部又发育了次一级地堑构造(槽中槽),地堑轴断断续续呈 NNE 向雁行斜列,纵贯整个冲绳海槽<sup>[3,6]</sup>。

### II.7. 电磁异常

电磁测深证明<sup>[5]</sup>,冲绳海槽之下发育了一个高导层,其上、下界面埋深分别为 45km 和 135km。在海槽中部其电导率高达  $1.0 \text{ s/m}$ 。这表明海槽区熔融层埋深小,岩石圈厚度减薄。

### II.8. 异常地幔

海槽区地幔上拱,地壳厚度为 18~24 km<sup>[8]</sup>,比东海陆架和琉球岛弧区地壳明显减薄。地壳之下发育了异常地幔。海底地震仪折射地震测量表明,即使接收距离达 130km,也未探测到明显的莫霍界面,这说明异常地幔发育,莫霍面不是一个明显的波阻抗界面。

### II.9. 地磁特征

海槽两坡为变化剧烈的高磁场带,NNE 向的地磁异常等值线变化幅度达 400 nT,对应着海槽轴部的火山岩体,磁场特征变化较大。

### II.10. 地震地层

大量的人工反射地震和折射地震测量,揭

示了冲绳海槽地震地层结构。结合钻孔资料及周边岛屿地层出露情况, 6个地震波速层及其对应地层已基本查清。

### III. 争论的问题

随着调查研究的深入, 新的观点和见解不断涌现, 但是也不断发现了一些目前难以确定, 认识上难以统一, 有待于进一步调查研究的问题。概括起来, 主要有9个方面。

#### III.1. 冲绳海槽的构造属性

迄今世界各国学者对冲绳海槽的构造性质看法不一。争议的问题是在构造上冲绳海槽是一个拗陷带、沉降带、地堑、弧后盆地、弧间盆地、边缘海盆, 还是一条裂谷?<sup>[1,2,3,6]</sup>

#### III.2. 冲绳海槽的地壳类型

海槽地壳到底属于什么类型? 是大洋地壳、大陆地壳、还是过渡型地壳? 特别是对是否发育了洋壳的问题看法不一, 海槽张裂中心内拉斑玄武岩的发现对地壳性质又作如何解释?

#### III.3. 冲绳海槽的基底性质

冲绳海槽是在什么样的基底上发育的? 现在海槽的结晶变质基底是什么? 是古老的片麻岩、前第三系砂岩、上白垩统花岗岩、还是前中新统变质岩? 如果是比较新的前中新统变质岩, 它与两侧琉球岛弧和钓鱼岛-五岛列岛陆架边缘脊的基底如何分界? 而陆架边缘脊与东海陆架区的古老基底又如何分界?

#### III.4. 海槽的成因

关于冲绳海槽的成因是争论最多, 看法最不统一的问题之一。其中, Wegeman 等最早提出了海槽的断层成因; Herman 等认为, 是琉球岛弧从亚洲大陆裂离时张开的边缘海盆; Lee 等论证了海槽南部的扩张成因; Kimura 认为是水平张裂而成; 金翔龙认为海槽的形成发展经历了拱顶、裂陷、扩张三个阶段; 路应贤提出了拗陷、断陷、扩张三个过程; 李全兴等认为冲绳海槽是在地幔流造成的不平衡状态下逐渐发育的弧后盆地; 等等。有待于进一步探讨。

#### III.5. 海槽的形成时代

冲绳海槽何时形成? 怎样发展? 是在老第

三纪, 中新世末、上新世末, 还是更新世初产生的? 其发展模式如何? 是从南往北发展, 还是从北往南发展? 即, 是北部处于断陷期, 中部张裂期, 南部处于扩张期; 还是刚好相反, 北部已结束扩张进入消亡期, 中部即将结束, 行将消亡, 南部正处于扩张期?

#### III.6. 横断裂是否存在

根据区域地质构造特征和区域地球物理场特征, 可知冲绳海槽区发育了一组 NW 向大型横断裂, 对海槽的形成发展起了重要的控制作用<sup>[2]</sup>, 但是在地震剖面上反映不明显, 由此造成的断裂地貌也不显著<sup>[6]</sup>。因此, 这类横断裂到底存在与否? 其展布规模如何? 有待于进一步调查证实。

#### III.7. 古地磁条带是否存在

对称的海底古地磁条带是海底扩张的有力证据之一, 但在冲绳海槽地区, 特别是在海槽南部, 是否存在对称的古地磁条带? 这个问题的解决将有助于确定海槽是否扩张的问题。

#### III.8. 地热流为何分散

前已述及, 冲绳海槽具有极高的热流值<sup>[9]</sup>, 但是, 高热流值比较分散, 热流的分布与地质构造活动性并不完全一致, 与现代火山活动也不完全对应。水深最大的海槽南部和吐喀喇火山链附近海区并未测得高热流值。这种高而分散的热流值意味着什么?

#### III.9. 中部异常活跃

冲绳岛西侧的海槽中部海域, 表现出特别强烈的构造活动性。该区热流值高, 地磁场值高而变化幅度大, 重力值高、岩浆活动、地震频繁、张裂地堑发育。这个海槽走向发生生转折的中部地区为什么表现出比海槽南、北部更强的构造活动性? 它与台湾-吕宋弧的北移碰撞有什么关系? 尚需日后更多的地质地球物理资料和更进一步的调查研究来解决。

### 参考文献

- [1] 金翔龙、喻普之, 1987. 冲绳海槽构造特征与演化. 中国科学 B 辑 2: 196~203.
- [2] 李乃胜, 1988. 冲绳海槽断裂构造的研究. 海洋与湖沼 19(4): 347~358.

- [3] 周志武、殷培龄, 1985. 东海地质调查的回顾与含油气远景展望。石油与天然气地质 6(1): 1~14。
- [4] 古井敏尅, 1979. 日本列島附近の地球物理データのコンパイル(I). 东京大学地震研究所汇报 54(1~4): 75~117。
- [5] 金子康江、本藏义守, 1987. 冲绳トラフと小笠原弧の電気伝導度構造。水路部研究报告 22: 135~143。
- [6] Kimura, M., 1985. Back-arc rifting in the Okinawa Trough. *Mar. Petroleum Geol.* 2: 222-240.
- [7] Kimura, M., S. Uyeda, Y. Kato, T. Tanaka, M. Yamano, et al., 1988. Active hydrothermal mounds in the Okinawa Trough backarc basin, Japan. *Tectonophysics* 145. 319-324.
- [8] Lee, C-S., G. G. Jr. Shor, L. D. Bibee, R. S. Lu and T. W. C. Hilde, 1980. Okinawa Trough: Origin of a back-arc basin. *Mar. Geol.* 35(1-3): 219-241.
- [9] Yamano, M., S. Uyeda, J-P. Foucher and J-C. Sibuet, 1989. Heat flow anomaly in the middle Okinawa Trough. *Tectonophysics* 159: 307—318.
- [10] Ю. А. Павлов, П. М. Сычев, 1975. Гравитационные аномалии островной дуги рюкю Хансей и прилегающей акватории. *Академия Наук СССР* 1:146-152.