ISSN 1009-2722 海洋地质前沿 第 41 卷第 2 期
CN37-1475/P Marine Geology Frontiers Vol 41 No 2

祁江豪, 梅西, 张勇, 等. 中国在冲绳海槽深部地震探测的新进展[J]. 海洋地质前沿, 2025, 41(2): 105-108.
QI Jianghao, MEI Xi, ZHANG Yong, et al. New progress of China's deep seismic survey in the Okinawa Trough[J]. Marine Geology Frontiers, 2025, 41(2): 105-108.
DOI: 10.16028/j.1009-2722.2025.026

中国在冲绳海槽深部地震探测的新进展

祁江豪[1,2], 梅西[1,2], 张勇[1,2*], 张训华[1,2], 陈晓辉[1,2], 李阳[1,2], 吴志强[1,2], 张菲菲[1,2]
(1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266237;
2 青岛海洋科技中心海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 青岛 266237)

0 引言

洋陆俯冲背景下形成的沟-弧-盆体系是认识板块相互作用以及地球深部与浅部物质循环和能量传递的重要窗口。东海冲绳海槽作为西太平洋最年轻的边缘海, 是发育于陆壳基底之上, 现今正受到强烈的弧后拉张并处于形成演化初期的弧后盆地。目前, 关于弧后盆地地壳深部结构演化规律及形成动力学机制的研究仍较为欠缺, 尤其是冲绳海槽地壳属性的厘定、洋壳化模式等众说纷纭。越来越多的证据表明, 在北部仍为拉张陆壳的情况下, 冲绳海槽南部已经出现初始洋壳, 这使得该地区成为研究全球陆缘弧后盆地拉张-破裂-扩张演化过程的绝佳场所。2024 年, 中国地质调查局青岛海洋地质研究所在实施“东海海礁等海域海洋区域地质调查”项目过程中, 在冲绳海槽中部代表洋壳特征的玄武岩发育区实施了中国首条 OBS 海底深部地震大剖面, 获得了丰富的深部地震信号, 为冲绳海槽洋壳化过程精细研究以及大洋钻探选址提供了可靠的深部地球物理依据, 为大陆架划界和国家海洋权益维护提供了宝贵的一手调查资料。

1 调查概况

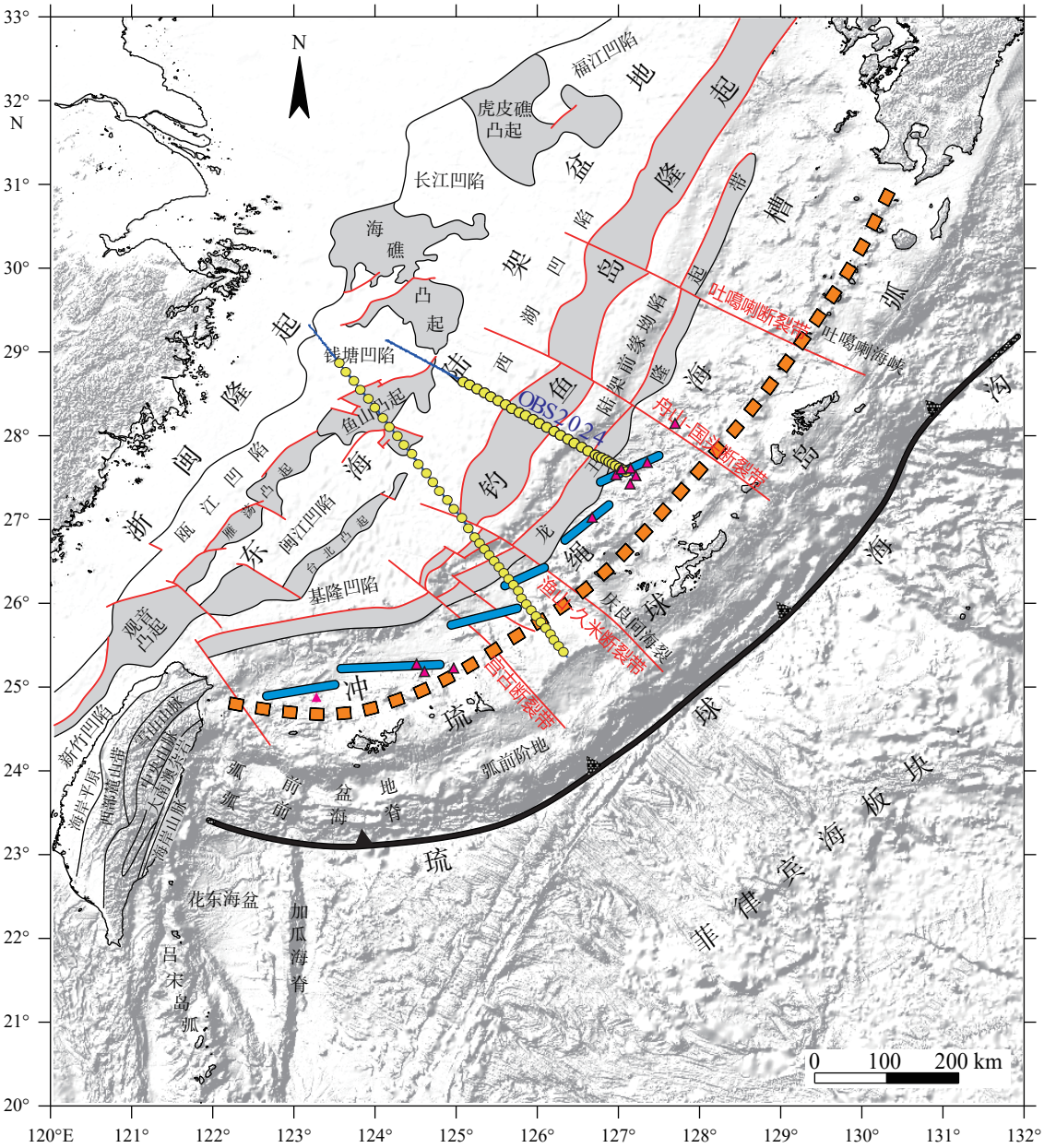
东海自晚白垩纪以来发育主动大陆边缘, 太平洋板块、菲律宾海板块向欧亚板块俯冲, 发育了东海陆架盆地, 冲绳海槽盆地等一系列新生代弧后裂陷盆地。洋陆俯冲型弧后盆地在持续的弧后拉张作用下会经历初始裂谷、持续张裂, 初始扩张(地壳破裂、洋壳出露)、成熟扩张(海底扩张、洋壳发育)等洋壳化阶段, 因此, 利用海底地震仪(Ocean Bottom Seismometer 简称 OBS)开展海洋地壳深部结构探测是揭示弧后盆地演化模式的重要手段。以日本为代表的国外科研机构 20 世纪 80 年代开始在冲绳海槽地区持续开展了 OBS 深部地震探测工作, 共计布设 OBS 测线 20 余条。2015 年, 青岛海洋地质研究所实施了中国大陆首条跨越东海陆架并贯穿冲绳海槽的 OBS 测线(39 站位 OBS, 545 km 炮线), 并于 2024 年再度在海槽中部布设了第 2 条 OBS 测线(图 1), 共计布设 30 站位 OBS, 360 km 炮线, 两条测线均采用大容量气枪震源, 获得了来自莫霍至上地幔的广角地震信号。探测结果揭示, 冲绳海槽地区地壳厚度自北向南逐渐减薄, 由北部的 23～30 km 减薄至南部的 7～16 km, 海槽北段、中段存在下地壳地震波衰减强烈, 上地幔低速异常, 莫霍面波阻抗差过小等现象, 表明陆壳张裂过程中已出现显著的壳幔相互作用; 南段地壳出现显著的下地壳高速体, 地壳已出现破裂, 出现了初始洋壳。

2 深部地壳结构特征

2.1 冲绳海槽地壳速度密度结构

OBS2015 测线揭示了东海陆架至冲绳海槽南部的深部地壳速度结构, 并在海槽区获得了 1D 速度模型库, 为大洋钻探选址提供了深部速度参考。基于此, 利用重震联合反演方法, 在速度结构模型

收稿日期: 2025-01-25
资助项目: 国家自然科学基金(U234420059, 91958210, 41606083); 山东省自然科学基金(ZR2023MD106); 科技部国家重点研发计划课题(2022YFC3102204); 中国地质调查局项目(DD20221701, DD20242758, DD20242759)
第一作者: 祁江豪(1987—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事海洋地质与深部构造方面的研究工作. E-mail: jhaoqi@126.com
* **通讯作者:** 张勇(1970—), 男, 博士, 正高级工程师, 主要从事海洋地质学方面的研究工作. E-mail: qimgzy@163.com



黄色圆圈为 OBS 站位，橙色三角为玄武岩分布区，橙色粗虚线为琉球火山前锋，红色实线为主要的断裂带，蓝线为冲绳海槽中央地堑

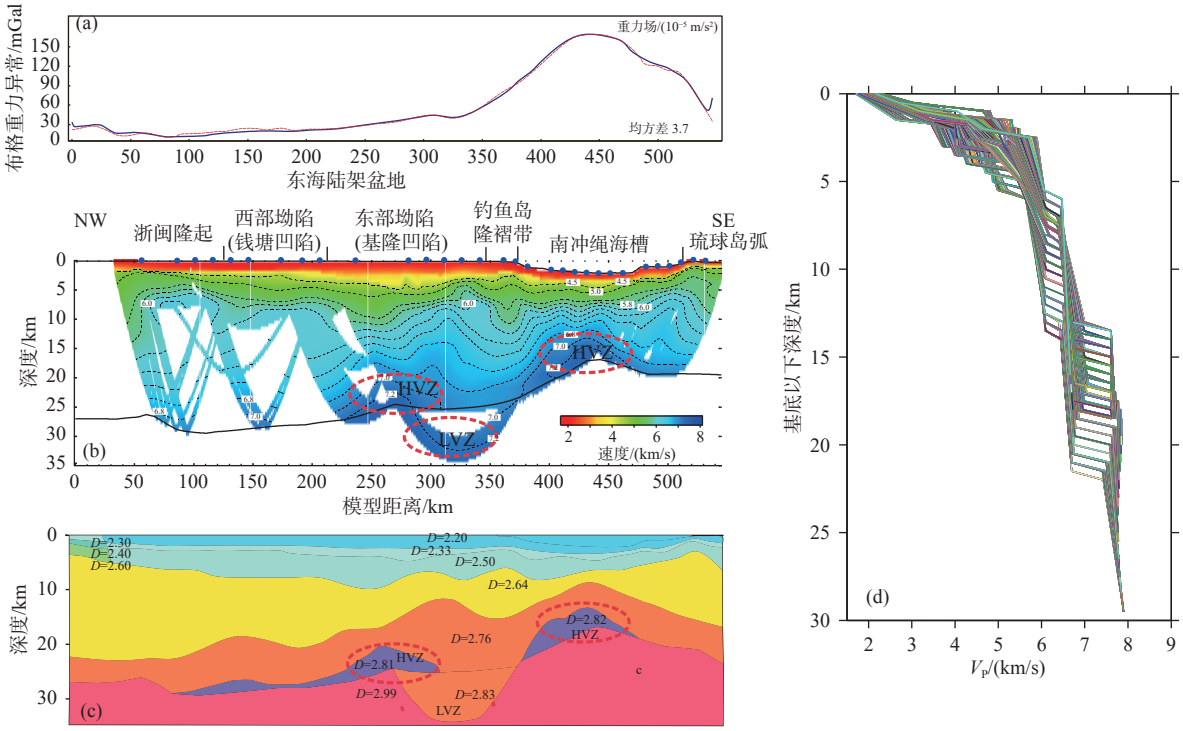
图 1 东海及邻区构造位置图及广角地震测线（OBS2015，OBS2024）位置

Fig.1 Geological structure of the East China Sea and its adjacent area and location of the wide-angle seismic profile (OBS2015, OBS2024)

的基础上，获得了冲绳海槽地壳尺度的密度结构模型(图 2)。可以看到，与速度结构模型中的下地壳高速体(HVZ)(V_p>7.2 km/s)所对应，东海陆架和冲绳海槽莫霍面上方存在显著的高密度体(2.81～2.82 g/cm^3)，亏损上地幔的低速低密度异常亦然(图 2)。结合前人对于冲绳海槽的岩浆岩分类方案，判定海槽内下地壳高密度体对应为基性岩，这进一步验证了下地壳高速高密度体的幔源属性。在此基础上，建立了东海地区上地幔之上的地层框架，如表 1 所示。

2.2 冲绳海槽弧后盆地岩浆上涌模式

基于 OBS 刻画的深部地壳结构，建立了弧后盆地岩浆演化模型，提出琉球俯冲板片上方形成的小尺度地幔汇聚导致了大量的幔源热物质侵入到下地壳乃至贯穿岩石圈的热液形成机制(图 3)。详细过程为：琉球俯冲板片上方形成的小尺度地幔汇聚导致大量幔源热物质以地幔柱形式侵入到下地壳中，具体表现为异常的上地幔结构以及下地壳高速侵入体，下地壳结构被完全破坏；地幔热



(a) 实测与理论重力异常拟合; (b) 速度结构模型; (c) 密度结构模型; (d) 1D 速度模型库

图 2　东海陆架至冲绳海槽南部地壳速度-密度结构模型

Fig.2　Crustal velocity-density structure model from East China Sea Shelf to Southern Okinawa Trough

表 1　冲绳海槽地区速度与密度结构框架

Table 1　Velocity and density structure framework of the Okinawa Trough

地层	速度/(km/s)	密度/(g/cm^3)
Q+N	1.7～3.0	2.20
声学基底层（前中新统浅变质岩层）	4.0～5.5	2.33～2.50
上地壳	5.5～6.4	2.64
下地壳	6.4～Moho	2.76
下地壳高速体(HVZ)	7.2	2.81～2.82
亏损上地幔(LVZ)	7.3	2.83
上地幔	8	2.99

物质经过岩浆通道向上运移, 在海槽轴部高速体上方的上地壳顶部形成了宽缓的浅部低速异常熔融体, 其作为浅部热源, 大量侵入并刺穿了上覆的声学基底层; 在冲绳海槽南部地壳更薄的区域已经出现了弧后扩张引起的刺穿沉积层的岩浆岩体。这些上涌的幔源物质和其产生的拉张应力场的共同作用下使得地壳以主动拉张的形式持续进行着张裂和洋壳化, 导致大陆地壳出现裂谷以及最终的破裂。

2.3　广角地震震相发育特征

本次在冲绳海槽中部开展的深部地震探测

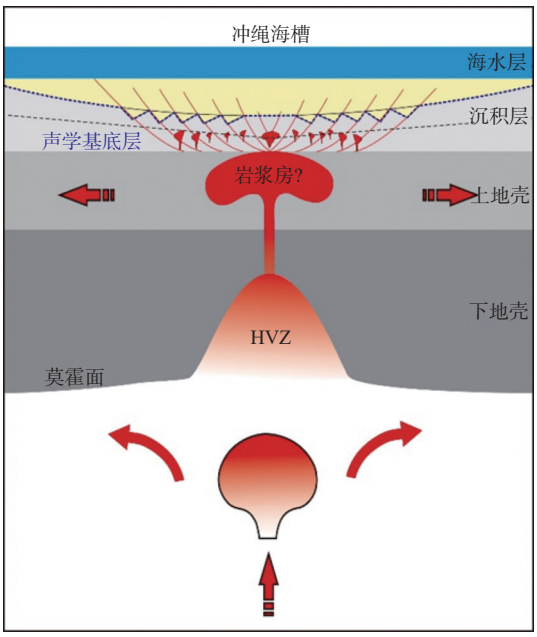
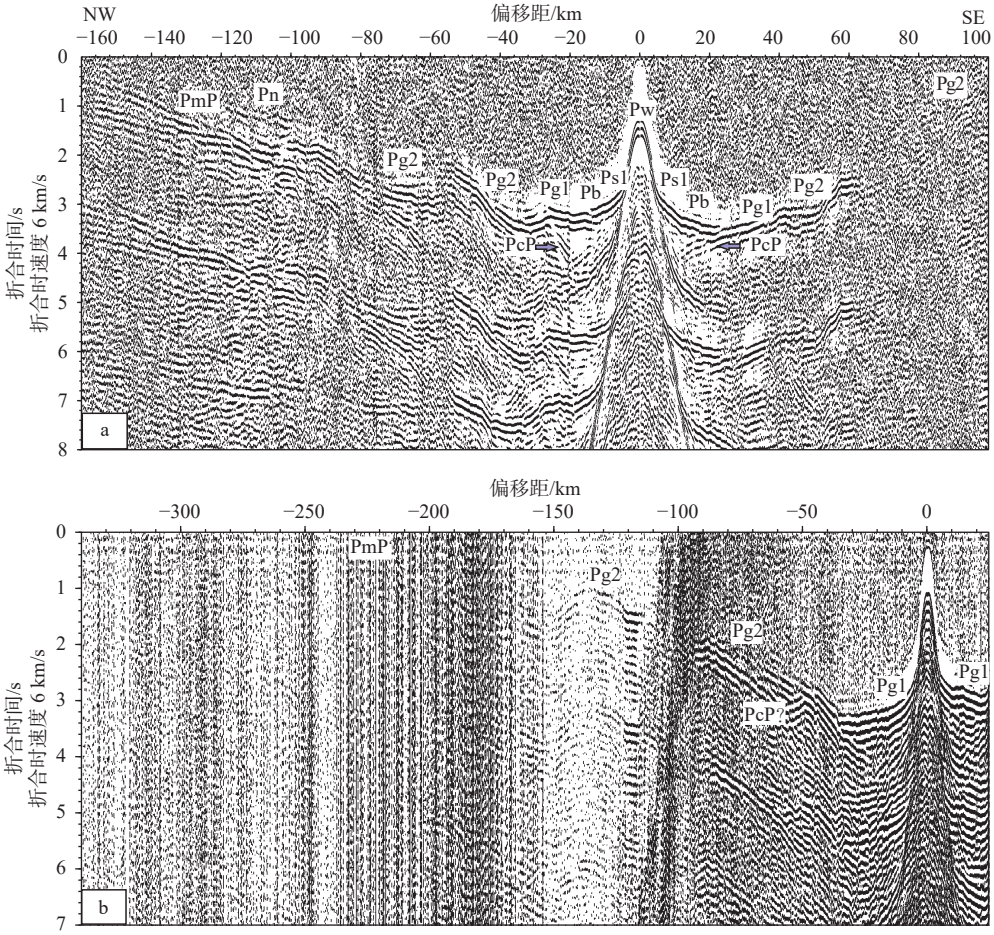


图 3　冲绳海槽弧后岩浆上涌模式

Fig.3　Back-arc magma upwelling model of Okinawa Trough

(OBS2024)穿越了伊平屋地堑(IG), 并记录到了最远约 200 km 偏移距的丰富的广角地震震相, 包括上地壳折射波震相 Pg1、下地壳折射波震相 Pg2、地壳内折射波震相 PcP、莫霍面反射波震相 PmP 等(图 4), 整体与海槽南部的震相类似, 其中地壳折射



(a)冲绳海槽中部 OBS 台站(OBS2015);(b) 冲绳海槽南部 OBS 台站(OBS2024)

图 4 冲绳海槽 OBS 台站综合地震记录剖面

Fig.4 Seismic record section of OBS stations in Okinawa Trough

波(Pg2)体现为高视速度(约 7 km/s),这清楚地揭示了在弧后拉张作用下,下地壳岩浆的侵位作用显著。

3 结论与展望

(1) 冲绳海槽中央地堑轴部下方地区发现的下地壳高速体是弧后拉张过程中幔源物质大量上涌的表现,高速高密度的幔源基性岩浆刺穿地壳、基底层直至沉积层,这是冲绳海槽南部地区中央地堑地壳破裂,出现初始洋壳的原因。

(2)冲绳海槽中部地区的 OBS 测线记录到丰富的深部地壳结构信息,按照每台站平均记录到 200 km 的有效信号计算,共计约 4 万余炮的有效广角地震信号可以有效揭示研究区的深部地壳信息,为反演高精度地壳速度结构模型奠定了坚实可靠的基础。