

78-83

冲绳海槽海底热流的研究*

李乃胜

P736.3

(中国科学院海洋研究所, 青岛)

摘要

冲绳海槽为世界上罕见的高热流区之一. 迄今在海槽内已取得189个热流数据. 热流分析表明, 属于西北太平洋活动边缘的琉球弧后地区具有异常高的热流值, 尤其是在冲绳海槽中部, 测得大于 $10\ 000\text{m}\cdot\text{W}/\text{m}^2$ 的异常高热流值, 为全球热流调查中所仅见, 这暗示着冲绳海槽为一迄今尚在强烈活动的弧后裂谷.

海底热流调查研究是一门近20年来迅速发展的新兴边缘学科, 对于研究深部地壳及岩石圈的热状态, 探讨深部地质结构和构造演化规律有重要的理论意义. 同时, 对于油气资源评价、地热资源开发利用及钻探过程中的热害防治有重要的实际意义.

位于洋陆壳接壤地区的冲绳海槽, 以其独特的大地构造位置和强烈的地壳活动特征, 吸引世界各国学者进行了许多海底热流调查工作, 尤其是自1984年以来, 完成了许多个航次的专门调查研究. 例如日本岩石圈计划于1984年用“若潮丸”号船在冲绳海槽中部进行了DEL P-84^[1]航次, 1988年用“第五海工丸”号船在海槽南部进行了DEL P-88航次的热流调查^[2]. 日德科技合作计划用“SONNE”号调查船于1984年在海槽北部^[3], 1988年在海槽中部^[4]分别进行了SO34和SO56航次的热流调查. 日法合作计划用“Jean Charcot”号船于1984年在海槽中部完成了POP-1航次的热流调查工作^[5]. 1990年中日合作计划用“科学一”号船在海槽北部进行了KX-90航次的热流测量. 此外, 1987年日本“白凤丸”在海槽中部完成了KH87-2航次的热流调查; 1988年, “淡青丸”号船在海槽中部进行了KT88-17航次的热流测量; 1989年日本地质调查所“自岭丸”号调查船在海槽中部“伊是名”海底火山口地区详细进行了GH89-3航次的热流调查^[6]. 迄今, 在冲绳海槽范围内共获得189个站位的热流测量值(不包括同一站位的多次测量, 表略).

一、冲绳海槽热流分布特征

位于琉球岛弧内侧的冲绳海槽属于西北太平洋活动大陆边缘的一个组成部分, 具有极高

* 本文于1991年4月27日收到, 修改稿于1991年8月6日收到.

国家自然科学基金资助项目.

的热流值, 这是太平洋中脊、马里亚纳海槽等公认的扩张中心所无法比拟的, 甚至比红海、亚丁湾这些“新生海洋”也高得多。测量资料表明, 最高值可达 $26\,008\text{m}\cdot\text{W}/\text{m}^2$, 甚至在 $27^\circ\text{--}28^\circ\text{N}$ 、 $127^\circ\text{--}128^\circ\text{E}$ 之间一个经纬度网格内89个热流测点的平均值竟高达 $1\,650\text{m}\cdot\text{W}/\text{m}^2$, 达到了令人难以置信的程度。由图1可看出该区的热流分布具有如下特征:

1. 张裂中心具有极高热流值: 冲绳海槽轴部发育了一条张裂地堑(槽中槽), 总体呈NNE向弧形展布, 它由多条NE向雁行斜列的小地堑组成, 在这些地堑中大多测得了较高的热流值。因此, 总体上在海槽中心形成了一条NNE向弧形展布的热流高值带。该带宽十余公里, 长约 $1\,200\text{km}$, 其北端可延伸至日本九州岛的鹿儿岛湾, 其南端与台东纵谷相接, 构成了西北太平洋边缘一条醒目的高热流异常带。

2. 热流值高而分散: 总体上说, 冲绳海槽为一极高热流区, 但详细热流分析可知, 其热流值相当分散。在海槽内测得的最低热流值仅为 $8.8\text{m}\cdot\text{W}/\text{m}^2$, 最高热流值则比其高出 $3\,000$ 余倍, 而且有时在数公里范围内, 热流值却出现相当大的变化。尤其在海槽南部, 这种现象十分普遍。

3. 海槽中部高热流区: 在冲绳海槽中部冲绳岛西侧海域测得极高热流值。此高热流区位于海槽轴部, 称为“伊平屋”洼地。在此洼地内调查发现了3个次一级的凹陷构造, 其内具有异常高的热流值。其中, 位于 $27^\circ35'\text{N}$ 、 $127^\circ09'\text{E}$ 附近的“夏岛-84”洼坑, 其水深约 $1\,750\text{--}1\,800\text{m}$, 面积约 4km^2 , 热流平均值为 $590\pm440\text{m}\cdot\text{W}/\text{m}^2$, 其中有5个站位的测量值超过 $1\,000\text{m}\cdot\text{W}/\text{m}^2$ 。位于“夏岛-84”洼坑东侧的“东部”洼坑($27^\circ35'\text{N}$ 、 $127^\circ12'\text{E}$ 附近), 水深亦为 $1\,750\text{--}1\,800\text{m}$, 面积约 6km^2 , 热流值为 $710\pm690\text{m}\cdot\text{W}/\text{m}^2$, 最高测量值达 $2\,823\text{m}\cdot\text{W}/\text{m}^2$ 。位于 $27^\circ16'\text{N}$ 、 $127^\circ05'\text{E}$ 附近的“伊是名”洼地, 为一火山口洼坑, 其直径约为 4km , 水深介于 $1\,600\text{--}1\,650\text{m}$ 之间, 为本区最高热流区。火山口洼坑中心处测得 $5.6^\circ\text{K}/\text{m}$ 异常高的温度梯度。在该洼坑内热流值多介于 $100\text{--}900\text{m}\cdot\text{W}/\text{m}^2$ 之间, 表现出自火山口中心向东北方向升高的趋势。在该火山口洼坑的东北坡上, 发现了大量的热液硫化物矿床。在矿床周围获得了异常高的热流值(图2)。其中3个站位测量值超过 $20\,000\text{m}\cdot\text{W}/\text{m}^2$, 15个站位超过 $1\,000\text{m}\cdot\text{W}/\text{m}^2$, 在不足 1km^2 范围内24个站位测量平均值竟高达 $5\,733\text{m}\cdot\text{W}/\text{m}^2$ 。

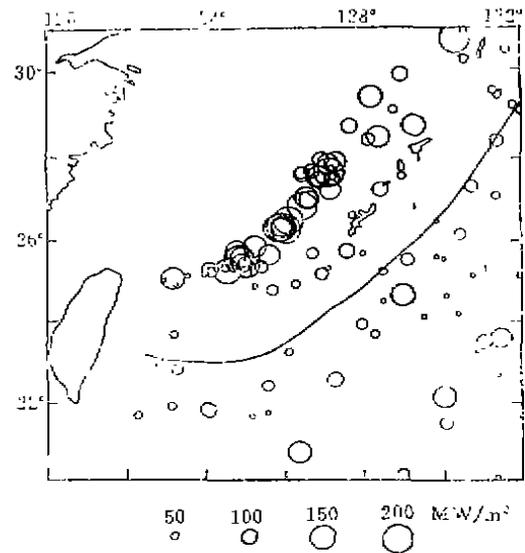


图1 冲绳海槽热流分布图

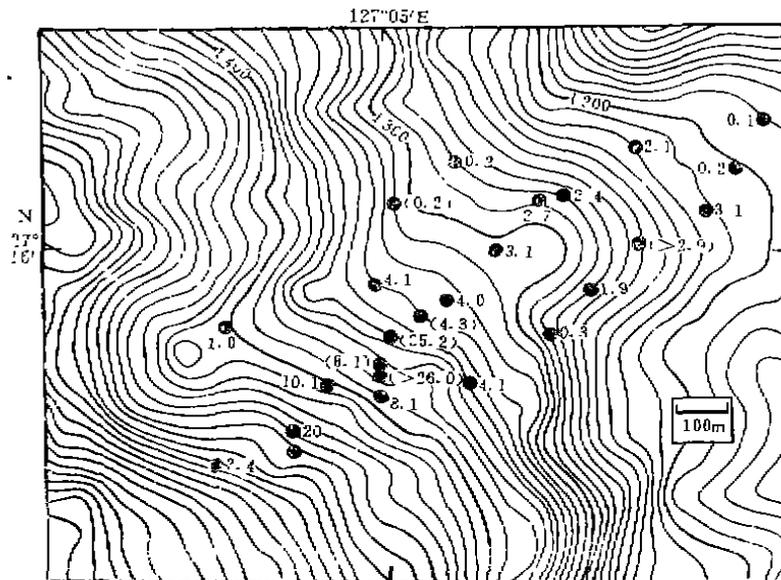


图2 伊是名火山口东北坡热流分布图(据文献(6))

热流单位: W/m^2 ; 等深线距10m

二、热源机制分析

冲绳海槽为何具有如此高的热流值?为何热流值比较分散?其热源机制是什么?这些问题的解决,有待于更进一步的专门研究。本文仅对其热源机制进行初步定性分析。

1. 地幔上拱:高温上地幔物质的上拱是冲绳海槽区域性高热流的主要热源、许多海洋地球物理调查已从多方面证实海槽区地幔物质明显上拱,地壳减薄,岩石圈厚度亦明显变小⁽¹⁾。重力资料推算和双船折射地震资料均表明,海槽区地壳厚度介于16—24km之间。海底地震仪阵列观测表明,即使接收距离达到130km也未探测到明显的莫霍(Moho)面,这说明该区异常地幔发育,莫霍面已不是一个明显的波阻抗界面。海底电磁测深表明,海槽轴部岩石圈厚度仅为35—40km,其下即是软流层。

2. 岩浆活动:冲绳海槽区发育了许多活火山,有些至今仍不断喷发。特别是海槽东坡发育了一系列活火山岛,各火山岛断断续续地呈串珠状分布形成了一个火山链(吐咯喇火山链)。图3示意性地表明了冲绳海槽及周边的火山分布情况。此外,海底岩石拖网和深潜艇水下观测在海槽中心张裂地堑内发现了大量更新世以来的岩浆岩,证明海槽中心现代岩浆活动非常强烈,使局部热流值明显升高。

3. 热液循环:海底热液循环对热流测量的影响极大。在海槽轴部已发现多处热液喷发和热液矿床⁽⁶⁾。在海槽中部“夏岛-84”洼坑的南缘发现了十余米高的热液喷发堆积。在“伊平屋”洼地中的一个小隆起上(伊平屋海隆),发现了高达220°C的热液喷发。在“伊是名”火山口东北坡发现大量热液硫化物堆积。海槽南部的八重山洼地属于海槽中心张裂地堑

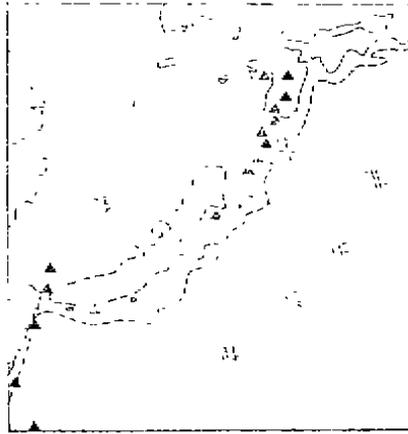


图3 冲绳海槽现代火山分布

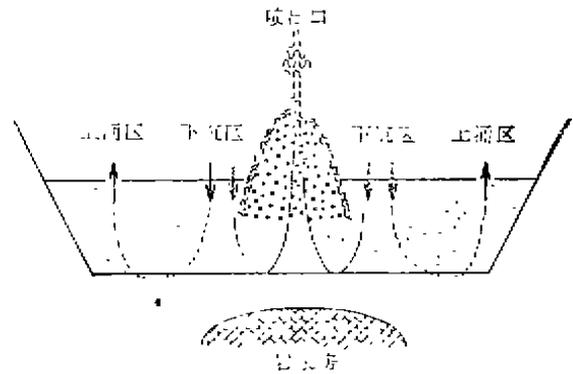


图4 热液循环模式

的一个组成部分、洼地中发育了一个海丘（八重山海丘），其上也观测到了“闪光水”活动。热液循环对热流值的影响，简单地说，可归结为图4所示的模式。在热液喷出口上可测得极高的热流值，在喷发口周围的下沉区，由于冷水下沉，使热流观测值变小，在远离喷发口的上涌区，热流值又明显升高。海槽南部八重山海丘及海槽中部伊平屋海隆周围的热流分布基本上均符合这一简单模式^[6]。

三、热流与地质构造

关于海底热流的研究已经揭示出热流与地质构造有密切关系，区域性热流值的高低反映了地壳活动性的强弱和地壳活动时代的新老以及地下深部居里面、莫霍面、软流层顶面等界面的起伏。冲绳海槽区的区域性高热流反映了该区的现代张裂构造特征。

1. 现代构造活动特征：冲绳海槽不仅具有极高的热流值，而且地震、火山活动频繁，活动断层发育，并且有地幔上拱、地壳减薄、水平张裂等一系列现代裂谷构造特征。在海槽中央自北向南发育了一系列NE-NNE向的张裂地堑（图5），构成了海槽的张裂中心。在这些地堑中大都具有火成岩活动，并发现了许多双峰态高铝系列玄武岩^[1,6]，其K-Ar年龄仅为 0.42 ± 0.19 Ma B P。这些新构造活动特征与极高的热流值相一致。

2. 俯冲汇聚带的地热特征：大量海洋地球物理调查和深海钻探证明，菲律宾海为典型的大洋地壳。在60—45Ma B P期间开始形成，并以中央盆地为中心，呈NNE-SSW向扩张，45—35Ma B P扩张方向转为近N-S向，35—17Ma B P期间，四国海盆和帕里斯维拉海盆扩张成形。自17Ma B P以来，作为一个整体，菲律宾海板块作北西向运动，并俯冲于琉球岛弧之下，使琉球海沟在中新世晚期发展成形，并使弧后地区的冲绳海槽在中新世末、上新世初张裂成形。因此，琉球海沟、琉球岛弧和冲绳海槽构成一个年轻的沟弧盆体系，表现出了洋陆壳过渡带的复杂构造特征。由图1可看出，弧后的冲绳海槽区热流值极高，而岛弧与海沟区热流值极低，大多低于 $50 \text{ m} \cdot \text{W}/\text{m}^2$ ，20多个站位测量值小于 $20 \text{ m} \cdot \text{W}/\text{m}^2$ ，由横穿沟弧盆地区的热流剖面示意图（图6）可看出，东海陆架大陆地壳与西北菲律

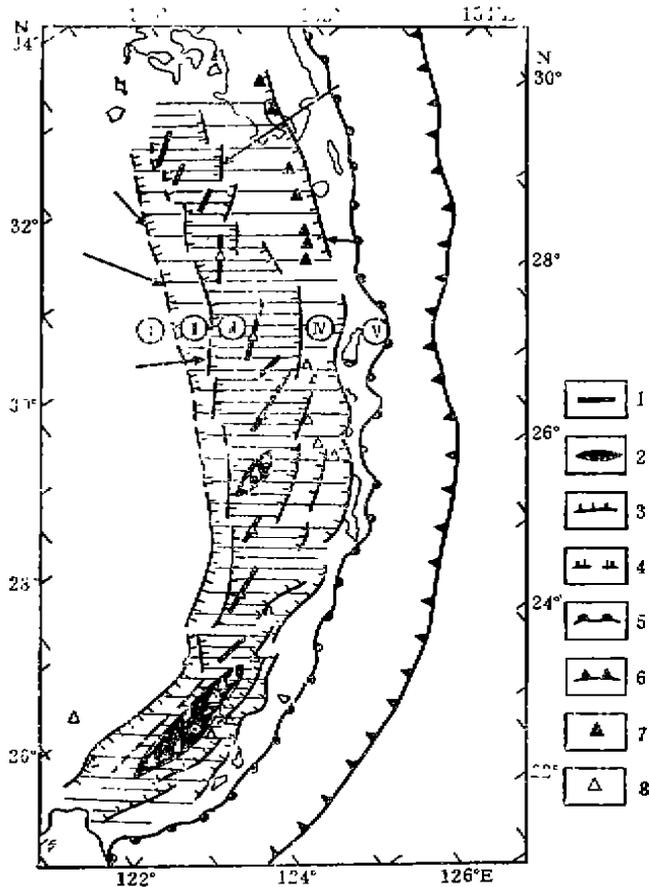


图5 冲绳海槽构造略图 (据本村, 1985: 略改)

I — 陆架边缘脊 II — 海槽西坡 III — 冲绳海槽 IV — 海槽东坡 V — 岛弧 1 — 张裂地堑 2 — 侵入岩体 3 — 断裂
4 — 隐伏断裂 5 — 岛弧边缘 6 — 海沟 7 — 现代火山
8 — 更新世以来的火山

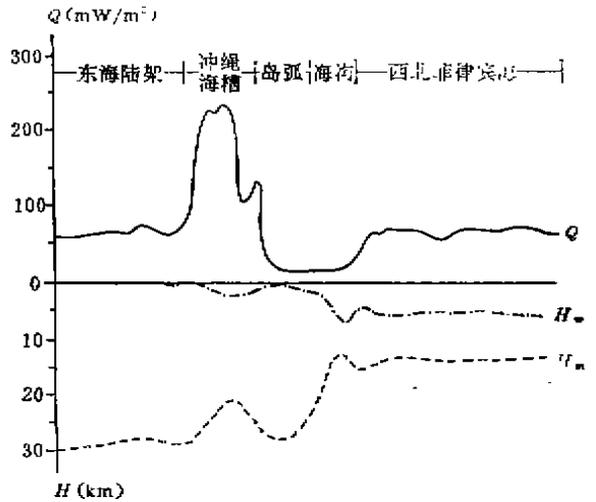


图6 沟弧盆地区热流剖面示意图
Q — 热流 H_w — 水深 H_m — 莫霍面
(据重力反演计算)

滨海大洋地壳区都具有均匀的热流值, 约为 $60 \text{ m} \cdot \text{W}/\text{m}^2$, 基本上等于全球热流平均值。沟弧盆地区热流值大幅度起伏变化, 海沟岛弧区热流值极低, 弧后地区热流值极高。这一变化模式揭示了洋壳作为冷板块, 在海沟区开始俯冲于陆壳之下, 至弧后地区引起地幔物质上拱生热这一板块俯冲汇聚的地热学机制。

四、结 论

通过对冲绳海槽区最新海底热流调查资料的系统总结分析, 可得出如下结论:

1. 冲绳海槽张裂中心具有极高的热流值, 189个站位的平均值为 $892 \text{ m} \cdot \text{W}/\text{m}^2$, 尤其在海槽中部 $27^\circ - 28^\circ \text{N}$ 、 $127^\circ - 128^\circ \text{E}$ 范围内, 数十个站位的测量值均大于 $1000 \text{ m} \cdot \text{W}/\text{m}^2$, 为全球热流调查所仅见。但海槽区热流值比较分散, 最高值与最低值相差数千倍。
2. 冲绳海槽区的热源主要是地幔上拱、岩浆活动、海底热液循环对海槽热流影响极大。热流值在局部范围内的强烈变化主要是海底热液循环作用所致。
3. 沟弧盆地区热流值变化剧烈, 弧后地区热流值极高, 岛弧海沟区热流值极低。这一区域性的热流变化特征揭示了洋陆壳俯冲汇聚带的地热学特点。

参 考 文 献

- [1] 李乃胜, 冲绳海槽的地质构造属性, 海洋与湖泊, 21(1990), 6: 536—543.
- [2] 吉井敏勉, 日本列岛附近の地球物理データのコンパイル(I), 地震研究所彙報, 1979, 54: 75—117.
- [3] Anderson, R.G., M.G.Langseth, D.E.Hayes *et al.*, Heat flow, thermal conductivity, thermal grade (1: 6442194), *A Geophysical Atlas of the East and Southeast Asian Seas* 1978.
- [4] Honda, S., Y. Matsubara, T.Watanabe *et al.*, Compilation of eleven new heat flow measurements on the Japanese Islands, *Bull. Earthq. Res. Ins. Univ. Tokyo*, 54 (1979), 45—73.
- [5] Jessop, A.M., M.A.Hobart and J.G.Sckater, The world heat flow data collection—1975, *Geothermal Service of Canada*, Ottawa, Canada, 1976.
- [6] Kinoshita, M., Heat flow anomaly in some Western Pacific T-A-BA system associated with interstitial water circulation, The Thesis of Doctor Degree, 1989.
- [7] Lee, C-R. and W-T, Cheng, Preliminary heat flow measurements in Taiwan, *Fourth Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Conference*, 1989, 1—9.
- [8] Lu, R.S., J.J.Pan and T.C.Lee, Heat flow in the Southwest Okinawa Trough, *Earth and Planetary Science Letters*, 55 (1981), 299—310.
- [9] Yamano, M., S.Uyeda, H.Kinoshita *et al.*, Report on DELP 1984 cruise in the middle Okinawa Trough, Part IV: Heat flow measurements, *Bull. Earthq. Res. Ins. Univ. Tokyo*, 61 (1986), 2: 251—267.
- [10] Yamano, M., S.Uyeda, J-P.Foucher *et al.*, Heat flow anomaly in the middle Okinawa Trough, *Tectonophysics*, 159 (1989), 307—318.
- [11] Yamano, M., S.Uyeda, M.Uyeshima *et al.*, Report on DELP 1985 cruise in the Japan Sea, Part V: Heat flow measurements, *Bull. Earthq. Res. Ins. Univ. Tokyo*, 62 (1987), 417—423.
- [12] Yamano, M., S.Uyeda, Y.Furukawa *et al.*, Heat flow measurements in the North and Middle Ryukyu Arc area on R/V SONNE in 1984, *Bull. Earthq. Res. Ins. Univ. Tokyo*, 61 (1986), 2: 311—327.