

冲绳海槽热流机制浅析^{*}

李官保^{1 2} 李乃胜²

(¹ 中国科学院研究生院 北京 100039)

(² 中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

提要 冲绳海槽是一个高热流区,平均热流值极高,但不均匀,实测最小值与最大值相差三个数量级以上。结合海槽地区的构造和地球物理特征,探讨了导致这一高而分散热流特征的多种因素,包括异常壳幔结构、海底热液循环以及地下水对流等,并分析了相应的控制机制。

关键词 冲绳海槽,热流,壳幔结构,热液循环

冲绳海槽位于东海边缘,属于琉球沟弧盆构造体系的一部分,是一个强烈构造活动的地区,表现出很强的现代构造活动特征,具有地壳拉薄、高重力异常、频繁的火山活动等特征,尤为引人注目的是其极高的热流异常和强烈的海底热水活动。

1 冲绳海槽的热流特征

自 20 世纪 60 年代以来,经过 30 多年数十个航次的调查,关于冲绳海槽海底热流积累了大量实测资料,据统计,冲绳海槽的热流调查密度在西北太平洋边缘诸海中仅次于日本海,这为研究区域热流特征和热异常机制奠定了基础。

1.1 极高的平均热流

根据已有的实测热流值,冲绳海槽的平均热流为 694.59 mW/m^2 ,是全球海洋海底平均热流的 6 倍以上,其中最高值高达 $26\,008 \text{ mW/m}^2$,去掉明显不可靠的部分热流值,平均值仍达 458.48 mW/m^2 ,是全球热流平均值的近 5 倍,最高值为 $10\,109 \text{ mW/m}^2$ [1]。

1.2 热流值极不均匀

海槽区域除了有明显较邻区为高的热流外,还有很多低热流值,图 1 是冲绳海槽热流值统计图,可见低于 50 mW/m^2 的热流值占 15% 以上,其中在海槽南端测得极低热流值仅为 9 mW/m^2 ,表现出分散的热流特征。

一般认为,冲绳海槽位于俯冲带的后侧,板块俯冲导致弧后产生次生地幔对流,使得弧后地区地热流比弧前高,但冲绳海槽的高热流极为罕见,不仅远高

于大洋平均值,甚至比其他一些公认的弧后盆地如马里亚那海槽、斐济海盆等都高得多,而且,其中出现的大量极低热流值使情况更为复杂,这是一般的热流模型所无法解释的。因此,结合冲绳海槽区域具体的地质构造条件,根据已有实测热流资料,对其复杂的热流机制加以探讨具有重要意义。

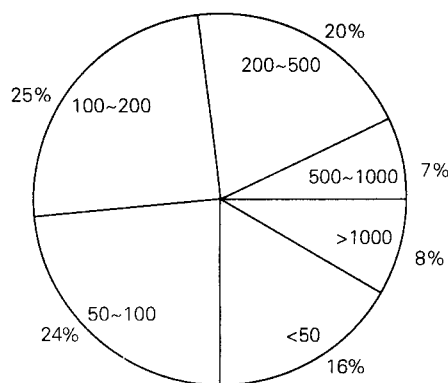


图 1 冲绳海槽热流值统计 (mW/m^2)

Fig.1 Statistics of heat flow data in Okinawa Trough

* 中国科学院院长基金资助项目;中国科学院海洋研究所调查研究报告第 4449 号。

第一作者:李官保,出生于 1976 年,博士研究生,海洋地质与地球物理专业。电话: 0532-2898538, E-mail: gbli@ms.qdio.ac.cn

收稿日期:2001-10-28;修回日期:2001-12-19

2 冲绳海槽异常的壳幔结构对热流的影响

冲绳海槽是一个发展中的弧后盆地, 菲律宾海板块向亚洲大陆的碰撞和俯冲, 造成亚洲大陆东部边缘断裂作用的加剧和地幔物质的上拱, 地壳的断陷和拉伸, 使冲绳海槽的壳幔结构较两侧的东海大陆架和琉球岛弧有很大差异, 地球物理调查的资料证明了这一点。在冲绳海槽存在一个明显的重磁异常带, 其布格

异常为 $80 \sim 160 \text{ mGal}$, 重力梯度为 $+5 \text{ mGal/km}$, 地磁异常约为 $+100 \text{ nT}$, 梯度变化为 8 nT/km 。莫霍面深度 (图 2) 在 $15 \sim 25 \text{ km}$ 之间, 其中海槽南部地壳较薄, 在 20 km 以下, 北部较厚, 为 $20 \sim 25 \text{ km}$, 地壳平均厚度比东海大陆架减薄了 $10 \sim 16 \text{ km}$, 但仍比一般大洋地壳厚得多。地壳厚度减薄一方面使热流垂向上更易于向地表传递, 另一方面导致下伏地幔物质上拱, 等温线上凸, 地温梯度增大, 热流值增加。

地壳内断裂、褶皱等构造的发育也对地表热流分

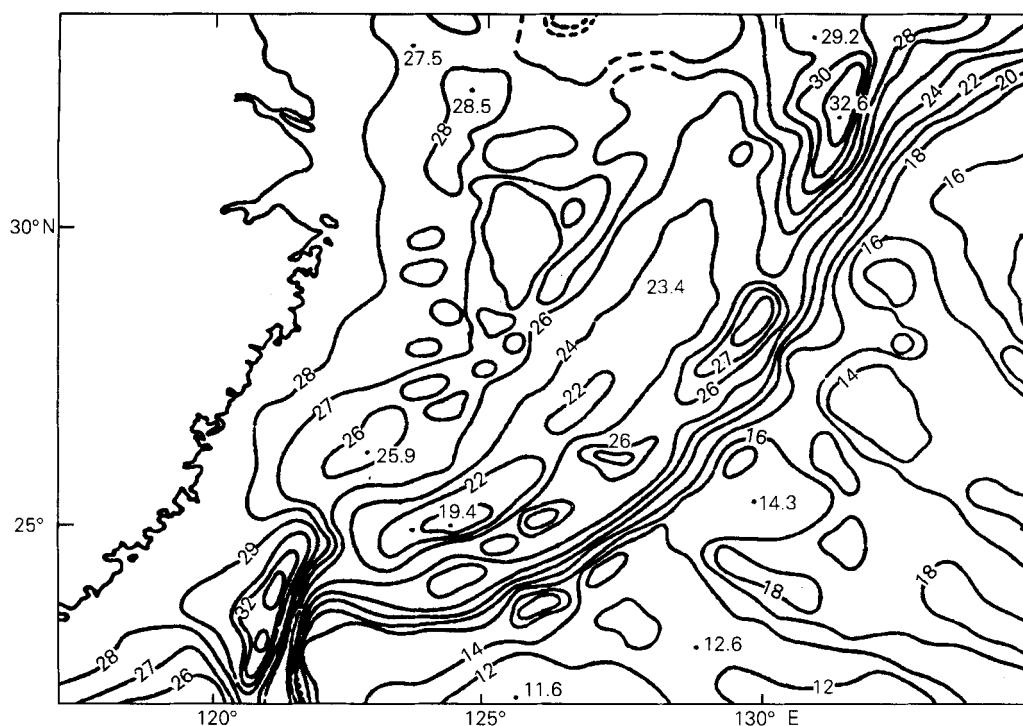


图 2 冲绳海槽及邻区莫霍面深度

Fig. 2 Moho depth of Okinawa Trough and its vicinity

布有重要影响。冲绳海槽是一个强烈的现代构造活动带, 表现出强烈的张性构造特征, 沿海槽轴部延伸方向上发育一系列高角度正断层 (图 3), 自东西两坡逐渐向中央断落, 形成大型地堑构造; 同时沿垂直海槽轴方向上自南向北也发育一系列近垂向的张扭性断层, 将纵断层分成许多段; 部分断层切割深度达海槽基底断层的切割使地层发生错断。断层作用导致同一深度上分布不同时代的地层, 不同时代的地层具有不同的热阻, 从而热流向着热导率较大的地层处集中, 导致热流在局部范围内的分布不均。

冲绳海槽沉积了很厚的沉积层, 根据地震探测资料, 在波速 4.9 km/s 以下为沉积基底, 据此冲绳海槽沉积盖层平均厚度在 3.4 km 以上, 而且北部厚度较大, 为 $7000 \sim 8000 \text{ m}$, 南部相对较薄, 大约在 $3000 \sim 4000 \text{ m}^{[4]}$ 。因此基底具有南高北低的起伏特征。基底的起伏直接引起热流在隆起区和凹陷区的再分配, 结果导致隆起区地温梯度增大, 地表热流值增加。

岩石圈内放射性元素衰变产生的热是地球的重要热源, 其中 U , Th , ^{40}K 是最主要的生热元素, 研究表明, 这些元素通常集中在地壳最上部 $8.5 \pm 1.5 \text{ km}$ 范

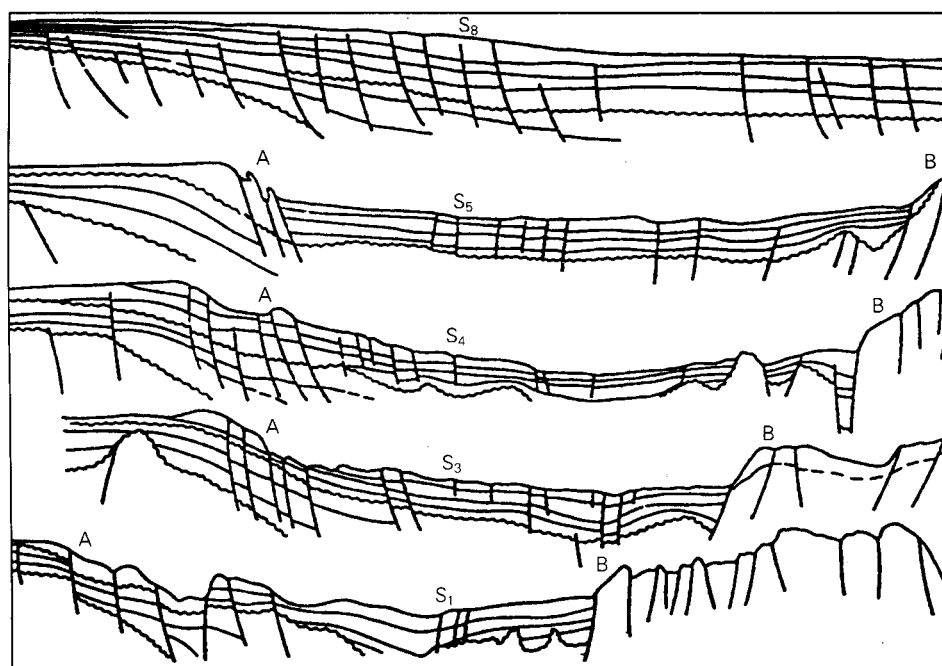


图3 冲绳海槽的高角度正断层

Fig.3 The highangle normal fault in Okinawa Trough

围内^[5], 在中酸性岩中含量较高, 相应地生热率也较大。海槽区深达莫霍面的地震折射资料(测线位于海槽南端)表明, 冲绳海槽上地壳厚度为3.2 km左右, 这一厚度相当于大洋地壳第二层厚度的2~3倍, 而且岩性上也有很大差异, 虽然目前尚无深海钻探资料, 但从获得的基岩样品来看, 主要为钙碱性英安浮岩和流纹英安浮岩, 属典型的酸性岩类, 表明海槽基底为以花岗岩为主的大陆性基底。考虑到中酸性岩中放射性矿物(主要是U, Th, ⁴⁰K)比基性岩中大得多, 最新的由载人深潜器进行的海底 γ 射线调查在“八重山”海底地沟东端的“第四与那国海丘”的活动烟囱上测得放射强度为884 cps(counts per second), U系浓度 19×10^{-6} , Th系浓度 38×10^{-6} , 而在“石垣海丘群”部位测得极高放射性, 放射强度高达7 666 cps, U系浓度 317×10^{-6} , Th系浓度 103×10^{-6} ^[3], 这是大陆U, Th浓度的数倍, 甚至高出一个数量级, 这样高放射性的原因还不清楚, 初步认为与该区的沉积物和火山岩有关, 假如冲绳海槽下真有高的放射层, 那么上地壳中放射性元素衰变产生的热可能是一个重要的热源, 至少, 在海槽区具有不同于大洋的岩石圈热结构, 其

地壳热流与地幔热流的比值要大于大洋区。

3 海底热液循环和地下水对流对热流的影响

冲绳海槽中已发现多处海底热水活动, 依据热水温度分为高温型(320℃左右)、中温型(220℃左右)和低温型(100℃以下)三类。热水区的形成与海底火山活动有关^[1], 多位于火山性陷落地区, 有些热水喷口本身就是古火山口。对地质地球物理的综合分析结果显示, 冲绳海槽以下存在大规模幔流底辟作用的可能, 局部熔融的上地幔物质底辟侵入下地壳底部, 形成岩浆房。从构成物质碳酸盐和硫化物的 δ_{4C} , δ_{34S} 及热水成分、同位素看, 热水活动的物质主要来自深部岩浆活动, 而硫酸盐矿物的成矿物质有的来自海水, 有的来自岩浆, 因此热水的形成与海水下沉并与侵入岩浆的交换作用有关。热液的循环作用对热流观测值影响很大, 在热液喷发口周围, 沉积物具有与热液相似的垂直温度变化趋势, 温度梯度较大, 热流值很高, 事实上, 实测1 000 mW/m²以上的热流值绝大多数出现在热水喷口附近, 如“伊是名”凹陷附近的热水活动区

就测得超过 $20\,000\text{ mW/m}^2$ 的极高热流值;再向外距喷口较远处海水下沉区,较冷的海水渗入沉积物,温度场变均匀,热流值较小。

除此之外,在热水循环不发育地区,地下水的对流也是一个不可忽视的重要因素,地下水对流对地表热流值的影响在大洋热点区域研究得较为深入。对冲绳海槽沉积物成分的研究表明,沉积作用以浊流沉积、火山沉积和半远洋沉积为主,陆源物质、火山物质

及生物碎屑占较大比例,这比深海软泥具有更大的渗透性,利于地下水的运移。从东海地温场结构剖面上看(图4),在冲绳海槽以下,除了沉积层顶部受海水影响,普遍温度较低外,沉积层下部等温线较两翼有明显隆起^[2],这种温度结构为地下水对流提供了有利条件。现在还无法确定这种地下水对流到底是全区性的还是仅限于局部范围,至于地下水对流对热流值的影响程度,还需要进一步的定量研究。

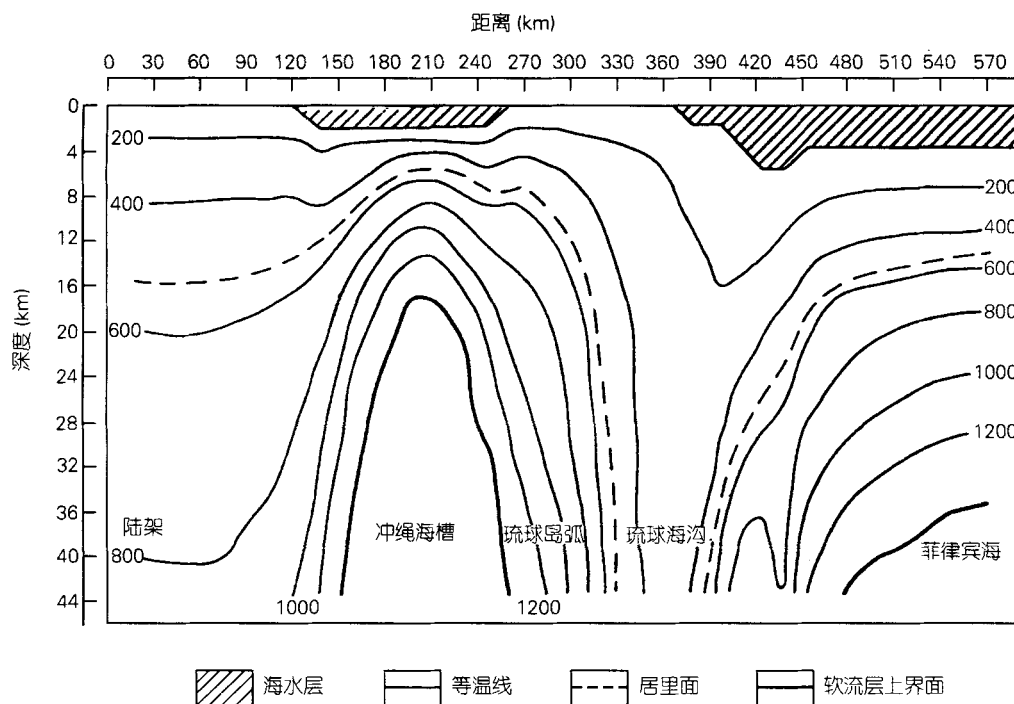


图4 东海地热场剖面

Fig.4 Thermal field profile of Donghai Sea

4 结语

根据冲绳海槽的区域热流特征,结合已有地质地球物理资料,本文探讨了影响冲绳海槽热流的几个重要因素,包括地壳地幔结构、海底热液循环和地下水对流等,以及其对热流分布的控制机制,以便为以后的定量计算和数值模拟提供一定的依据。

参考文献

1 李乃胜.冲绳海槽地热.青岛:青岛出版社,1995。

- 2 喻普之、李乃胜.东海地壳热流.北京:海洋出版社,1992.101~127
- 3 服部陆男、冈野真治.海洋放射能测定最新の成果,JAMSTEC 深海研究,2001,18:1~13
- 4 Li Naisheng. On Tectonic Problems of The Okinawa Trough, *Chin. J. Oceanol. Limnol.*, 2001, 19(3): 255~264
- 5 Wang Jiyang *et al.*. Geothermics in China. Beijing: Seismological Press, 1996. 61~87

研究报告 *REPORTS*

PRIMARY ANALYSIS ON THE HEAT FLOW MECHANISM OF OKINAWA TROUGH

LI Guan-bao^{1, 2} LI Nai-sheng²

(¹ Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039)

(² Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071)

Received : Oct., 28, 2001

Key Words : Okinawa Trough, Heat flow, Crust mantle structure, Hydrothermal circulation

Abstract

Okinawa Trough is a high heat flow region with extremely high but uninformed heat flow value, of which the maximum is three orders larger than the minimum. Based on the specific structure and geophysical features in the region, it is suggested that this special thermal character result from various factors, including abnormal crust mantle structure, seafloor hydrothermal circulation, and ground water convection as well. and the controlling mechanism of these factors to the heat flow distribution is discussed in this paper.

(本文编辑:李本川)