

西北太平洋边缘海热流调查研究的回顾与展望*

ADVANCEMENTS OF HEAT FLOW STUDIES IN THE MARGINAL SEAS OF THE NORTHWEST PACIFIC

姜丽丽 李乃胜

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

* 西北太平洋边缘海包括白令海、鄂霍茨克海、日本海、东中国海和南中国海, 是世界上最引人注目的构造活动带。频繁的火山、地震、海啸等自然灾害给沿岸的国家造成了巨大的损失。同时, 该区域也蕴藏着大量的石油、天然气及其他多种金属矿产资源。与此相关的各种地壳活动以及发生在地下深处的物理、化学变化过程均与地热有关。迄今, 在地表上能直接观测到的有关地球热状态的最重要的参数是地热流(简称热流)。

本文拟通过对西北太平洋边缘海地热流调查状况的回顾与展望, 为我国今后开展海洋热流调查及与其他地质、地球物理方法相结合的研究提供一点建议和参考。

1 地热流调查简史

西北太平洋边缘海地热流研究状况自北向南按 5 个海区进行讨论, 依次为: 白令海、鄂霍茨克海、日本海、东中国海和南中国海。

1.1 白令海区

白令海最早的热流调查始于 1961 年^[4], 获得了 5 个热流值。其后, 前苏联、美国、日本等国的学者在这一区域又做了不少工作。到 1995 年^[9], 阿留申海盆的热流数据已达 27 个, 鲍厄尔海盆只有十几个数据, 变化最大的是堪察加海盆, 其数据量达到了 94 个。

白令海大的地质单元分为 4 个部分, 东部为水深小于 300 m 的白令海陆架, 此区基本没有做过热流调查。西部的 3 个海盆, 热流调查的详细程度不同, 从东向西调查的详细程度依次增强。且数据主要分布在水深大于 3 000 m 的深海区。

1.2 鄂霍茨克海

鄂霍茨克海区的热流调查始于 60 年代^[12], 其后, 前苏联、美国、日本等国家分别和合作做过大量的热流调查工作。到 1995 年, 鄂霍茨克海区的热流数据已达 244 个。其热流测量主要分布在水深大于 300 m 的海

区, 在其浅海陆架区基本上没有热流数据。其热流值要比堪察加海盆的低, 大多为 80~ 110 mW/m²。

1.3 日本海

日本海的热流调查始于 1957 年, 日本东京大学地震研究所的 Uyeda 等人最早进行了热流测量尝试^[10]。其后, 日本、前苏联、朝鲜及 DSDP 等国家和组织在日本海做了大量的工作, 1979 吉井敏克^[3]统计时日本海热流数据已达 224 个, 到 1996 年达 360 多个^[11]。日本海的热流数据在整个西北太平洋边缘海区最均匀, 覆盖的密度也是最大的。

1.4 东中国海

东中国海的热流调查主要集中在冲绳海槽区, 热流测量始于 60 年代^[1]。其后, 日本、台湾地区、日德、日法、中日^[2]的多个航次的地热及其他地球物理调查对冲绳海槽的地质构造和其他地球物理场的解释又增加了更深层次的认识。总括冲绳海槽 237 个可靠热流数据, 其分布也是极不均匀, 中南部密度大, 北部稀疏。

1.5 南中国海

南海的热流测量始于 70 年代, 其后, 中美、中日、前苏联在该区进行了大量的热流调查。到 1996 年时已达 584 个^[6], 其中, 359 个是从油田测井中获得, 225 个是由地热探针获得。由于两种测量方法的不同, 因而其数值有时相差较大, 因而在计算均值的过程中有所取舍。南海的热流平均值除去一些不可靠值, 可达 77.4 ± 22.7 mW/m²。南海的热流分布不均匀, 主要分布在南部的几个盆地和北部陆架区的珠江口盆地及几条地热剖面上。

整个西北太平洋边缘海盆的热流数据已达 1 500 多个, 相对于全球海区的 7 965 个^[5]不是很大, 但数据密度还是较大的。除陆架区外, 热流数据的分布也相对

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 3165 号, 由中科院院长基金资助。
收稿日期: 1997 年 3 月 21 日

均匀(见图1)。

2 区域热流特征

2.1 白令海区热流特征

堪察加海盆的热流值最高, 大于 100 mW/m^2 的热

流值占据大部分地区, 而鲍厄尔海盆, 阿留申海盆热流值则要低得多, 均值仅为 $60 \sim 70 \text{ mW/m}^2$ 。从热流等值线分布看, 高热流值的分布与构造活动的分布基本吻合。在堪察加盆地, 热流等值线近于 NW 向分布, 与该区的阿留申岛弧近于平行, 高热流分布在弧后区。

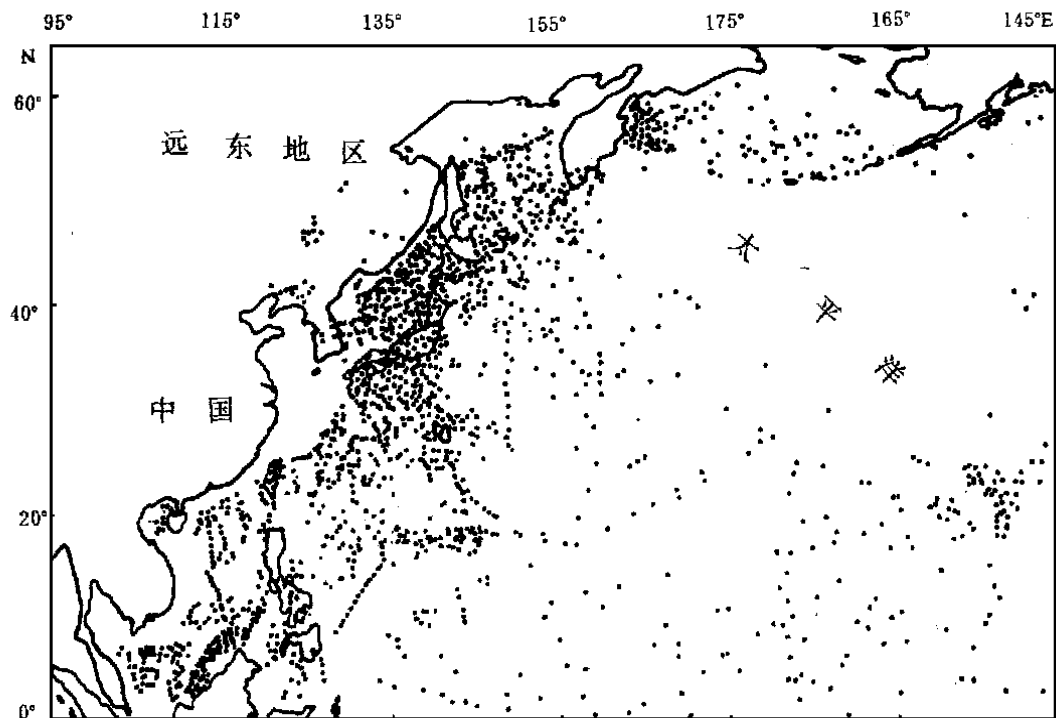


图1 西北太平洋边缘海热流分布(据 Pollouk, Yamano, Smirnov 等发表的数据描绘)

2.2 鄂霍茨克海区热流特征

鄂霍茨克海区的热流值分布与该区的构造格局有一定的相关性。该区高热流等值线分布基本与构造走向相平行。在库页岛区的德鲁基娜海盆区的高热流异常近于 SN 向延伸; 在千岛弧后区, 高热流异常值亦与岛弧平行; 在科学院隆起区, 高热流异常呈 NEE 向延伸; 在鄂霍茨克隆起区, 高热流异常呈 NW 向展布。而在千岛岛弧外的海沟区则以低热流异常 (40 mW/m^2) 与千岛-堪察加海沟平行延展。

2.3 日本海的热流特征

日本海总体热流数据值较高且均匀, 极少有低于 80 mW/m^2 的值, 热流等值线呈 NNE 向延伸者居多。在库页岛与锡霍特山脉之间的鞑靼海峡, 100 mW/m^2

的等值线则呈喇叭形展布。日本海盆、大和海盆、朝鲜地台等区域均以宽缓的高热流异常分布其中。该海域的热流值同洋中脊相比, 其标准差较小, 也就是热流值的分散性明显偏低, 这也是日本海在西北太平洋区域高热流区的显著特征。

2.4 东中国海热流特征

冲绳海槽区的地热流具洋中脊的特点, 具有热流值高、分散性强、标准偏差大、热水循环强烈的特点。而且它有比洋中脊和新生洋壳(如红海、亚丁湾)更高的热流值, 也是西北太平洋边缘海中热流值最高的海区。总括冲绳海槽 237 个可靠热流数据, 计算整个海槽的热流均值可达 220 mW/m^2 。比世界洋壳的平均值 101 mW/m^2 还要高一倍^[8]。从冲绳海槽热流等值线的分布

来看, 100 mW/m^2 的高热流异常值基本与海槽的地形分布有一定的相关性。除了一部分极低的热流值, 大部分在 100 mW/m^2 以上, 不少热流值达 $5\ 733 \text{ mW/m}^2$ 。

2.5 南中国海热流特征

南海区域的热流特征基本与构造格局相一致。热流在南沙海槽表现出低热流异常, 且等值线沿构造的展布方向 NNE 延伸。南海中央盆地的热流值明显较高, 均值可达 90 mW/m^2 。据年龄与热流的关系^[7]可算得南海中央海盆中西南小盆地的年龄约为 15.5 Ma 和东部盆地的 28.9 Ma , 与据南海磁异常条带所计算的盆地年龄基本相符合。曾母盆地的热流值相对较高, 均值达 97 mW/m^2 , 北部陆架具有稳定的正常值, NNE 向拉张带亦具有高热流值。

从整个西北太平洋大陆边缘海看, 所有弧后盆地区均为高热流异常区, 总体沿边缘海盆的分布方向, 呈 NE 向展布。只是阿留申岛弧区的鲍厄尔盆地呈与阿留申弧相同的弧形方向伸展。岛弧外延区均伴以低热流异常值 (50 mW/m^2)。

3 存在的问题

总括整个西北太平洋的热流调查史, 不难发现以下几个问题:

3.1 地热调查主要集中在水深大于 300 m 的深海海域内, 浅海区域的热流分布几乎为零。

3.2 地热理论的发展不尽如意。

3.2.1 从地热学这一术语 1848 年问世, 至今已近 150 a 的历史。然而, 与其他地球物理学的发展相比, 这一学科的发展过于迟缓。这与热自身规律的复杂性有关, 也与相应的数学及物理学在这一领域中发展的相对迟缓有关。自从 1957 年西北太平洋的地热调查开始之日起, 这一区域的有关地热理论便开始酝酿了, 到现在有了一定的发展(另文讨论)。但目前地热的正反演工作都还没有达到能够将热传导、热对流、热辐射各自在热的传输过程中的规律摸清楚, 因此地热理论研究的发展难免举步维艰。

3.2.2 洋陆壳并存的构造格局。洋壳与陆壳的区别从根本上应当是其化学组分的不同, 而且在热方面则是陆壳具有放射性生热层, 而洋壳没有。对于边缘海这种界于洋陆之间的特殊的区域, 究竟洋壳向陆壳是如何过渡的, 仍需进一步研究。

3.2.3 关于能否用洋中脊年龄的计算方法来计算边缘海海底年龄的问题。目前关于边缘海的年龄大多用洋中脊的方法来计算, 也就是将此热区域作为裂谷区看待。然而这些区域高热异常的存在是否与洋

中脊具有相同的机制, 目前还难以定论, 有待于更进一步的工作来证实。

3.3 地热调查时间跨度大。西北太平洋区域的热流调查自 1957 年到现在, 热流在不同时段内的测量精度不同, 船舶的定位精度也不同, 因此需要对这些数据进行一定的协调处理。另外地热场在这 40 a 中的稳定程度是不是会有什么样的变化, 也有待于今后在海洋地热长期变化观测方面做一些有益的探讨。

4 展望及建议

4.1 浅海热流测量

在整个西北太平洋边缘海, 目前热流测量在浅海区域基本为空白区。浅海处于陆架区, 紧邻大陆, 沉积物中有机质的含量丰富。在温度、沉积条件成熟的地方极易形成石油和天然气资源。我国有着宽广的大陆架, 其能源资源是有目共睹的。地热流是地壳热状态在地表的反映, 且是反映地球热状态的最重要的参数。因此, 研制能最大限度适应浅海区域地质状况的热流测量仪器, 对浅海陆架及边缘海进行大规模的热流调查, 已是当务之急。这一工作, 在应用研究上有利于查清我国的海上油气资源, 了解边缘海的构造格局, 为我国海洋疆界的划分提供依据; 在理论上, 有助于深化对边缘海演化过程的认识, 开创在海陆过渡壳进行地热研究的新局面。

4.2 地热理论发展前景

在目前研究水平下, 结合其他地球物理方法进行综合解释, 对地热学的研究发展应是一条捷径。当然更应吸收数学、物理学及其他相关学科的与热的规律有关的最新发展成果, 以促进地热学理论的尽快发展。

4.3 热流研究对地球动力学研究的影响

地球的演化史就是地球的热历史。地球的构造运动变化无一不与地球的热状态相联系, 地球各圈层之间的能量转换, 地球与其他星体之间的能量变换都与热相关。热流则是指单位时间内单位面积上流过的能量, 它本身就是对能量转换速率的度量。因此, 通过对热流分布规律及其变化特点的研究, 可以从能量的角度促进人类对地球整体动力学的研究和理解。

4.4 热流与热水循环的关系

从地热流调查的数据分析来看, 在高热流区存在着强烈的热水循环。对于热水循环是如何影响热流场的, 有哪些因素起作用, 在区域地热研究中应当如何处理热水循环产生的影响, 有待于进一步的研究, 这也是地热学研究中的一个重要环节。同时, 弧后热水循环与大洋中脊的热水活动在形成机制及活动规律上的异

同, 热水循环带来的热水成矿理论, 热水生态学研究都将是极有生命力的崭新研究领域。

4.5 地热对西北太平洋大陆边缘演化的影响

西北太平洋大陆边缘的地热流有其独特的分布特征, 由陆到洋, 热流形成了由低到高再到低分布规律。也就是经历了构造单元上由大陆架向弧后盆地、岛弧、海沟更迭的构造格局。大陆边缘的这种构造格局竞是如何形成的, 现在的解释众说不一, 有认为地幔对流形成的, 有称为地幔底辟作用形成的, 也有认为是板块俯冲、碰撞摩擦生热上涌形成等等, 所有这些学说的解释均与热有关。因而从热流研究入手, 将会促进对西北太平洋边缘海的成因、弧后高热流的成因以及西北太平洋大陆边缘的演化进行更深入的探讨。

5 结论

5.1 西北太平洋边缘海热流研究 40 a 的发展已经积累了大量的数据和信息, 取得了在弧后盆地区热流值高, 并大多与其地质构造相符合的论断。

5.2 海洋地热学在西北太平洋边缘海区的理论和应用研究还刚刚起步, 有待于进一步的工作去发展。

参考文献

- [1] 李乃胜主编, 1995. 冲绳海槽地热. 青岛出版社, 1~68.
- [2] 喻普之, 李乃胜主编, 1992. 东海地壳热流. 海洋出版社, 1~7.
- [3] 吉井敏克, 1979. 地震研究所汇报 54: 75~117.
- [4] Forster, T. D., 1962. *J. Geophys. Res.* 67: 2991-2993.
- [5] Huang, S., 1996. Abstracts of the 30th IGC(03479).
- [6] Li Naisheng, 1996. Geothermics in China. Seismological Press, 36-60.
- [7] Passons, B. ET AL., 1977. *J. Geophys. Res.* 82: 803-827.
- [8] Pollack, H. N. ET AL., 1993. *Reviews of Geophysics* 31: 267-280.
- [9] Smirnov, Ya. B., 1995. *Terrestrial Heat Flow and Geothermal Energy in Asia*. Oxford & Ibh Publishing Co. Pvt. Ltd., 239-250.
- [10] Uyeda, S. *et al.*, 1964. *J. Geophys. Res.* 69: 2121-2124.
- [11] Yamano, M. *et al.*, 1996. *Geology and Geophysics of the Japan Sea*. Terra Scientific Publishing Company, 61-74.
- [12] Yasui, M. *et al.*, 1967. *Oceanogr. Mag.* 19(1): 87-94.